

## TITLE OF THE INVENTION

データ分類方法及び装置、信号処理方法及び装置、位置検出方法及び装置、  
画像処理方法及び装置、露光方法及び装置

## BACKGROUND OF THE INVENTION

## Field of The Invention

本発明は、データ分類方法及び装置、信号処理方法及び装置、位置検出方法及び装置、画像処理方法及び装置、露光方法及び装置、記録媒体、並びにデバイス製造方法に係る。より詳しくは、本発明は、収集されたデータの中におけるノイズデータの有無の判別に有効なデータ分類方法及び装置、該データ分類方法を使用する信号処理方法、該信号処理方法を使用する位置検出方法、前記データ分類方法を使用する画像処理方法及び画像処理装置、並びに、前記位置検出方法あるいは前記画像処理方法を使用する露光方法及び装置に関する。また、本発明は、前記データ分類方法、前記信号処理方法、前記前記位置検出方法、又は前記画像処理方法を実行するためのプログラム内容が格納された記録媒体、及び前記露光方法を使用するデバイス製造方法に関する。

## Description of The Related Art

従来より、半導体素子、液晶表示素子等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「基板又はウエハ」という）上に転写する露光装置が用いられている。こうした露光装置としては、いわゆるステッパ等の静止露光型の投影露光装置や、いわゆるスキャニング・ステッパ等の走査露光型の投影露光装置が主として用いられている。

かかる露光装置においては、露光に先立ってレチクルとウエハとの位置合わ

せ（アライメント）を高精度に行う必要がある。このアライメントを行うために、ウエハ上には以前のリソグラフィ工程で形成（露光転写）された位置検出用マーク（アライメントマーク）が、各ショット領域に付設されている。このアライメントマークの位置を検出することで、ウエハ（又はウエハ上の回路パターン）の位置を検出することができるようになっている。そして、ウエハ（又はウエハ上の回路パターン）の位置の検出結果に基づいて、アライメントが行われる。

現在、ウエハ上のアライメントマークの位置検出にはいくつかの方法が実用化されている。いずれの方法においても位置検出用の検出器によって得られたアライメントマークの検出結果信号の波形を解析して、ウエハ上の所定形状のラインパターンとスペースパターンとから構成されるアライメントマークの位置を検出している。例えば、最近の主流となっている画像検出による位置検出では、アライメントマークの光学像を撮像装置によって撮像し、その撮像信号すなわちその像の光強度分布を解析してアライメントマーク位置を検出している。かかるアライメントマークとしては、例えば、所定方向に沿ってラインパターン（直線パターン）とスペースパターンとが交互に配列されたライン・アンド・スペースマーク等が用いられている。

こうした画像検出による位置検出では、マークの撮像結果として得られるマーク像の光強度分布を反映した信号波形の形状を解析する。かかる信号波形は、マークにおけるラインパターンとスペースパターンとの境界（以下、「エッジ」という）部分において特徴的なピーク形状を呈するが、これに類似したピーク波形は、偶発的なノイズによっても発生する。

このため、精度の良いマーク位置の検出を行うためには、ノイズによるピーク形状と、本来の信号におけるピーク形状とを識別することが必要となる。こうした識別にあたり、次のような方法が従来から使用されていた。まず、各製造プロセスごとに予め多くのマークを撮像する。引き続き、撮像結果から得ら

れるピーク波形それぞれのピーク高さから、信号ピークとノイズピークとを分けることができる信号レベルの閾値を、撮像結果から得られる信号波形との関係（例えば、最大ピーク高のTH%）で求めておく。そして、実際のマークの位置検出においては、そのマークの撮像結果から得られた信号波形に基づいて、その閾値を超えるピークを信号ピークとして採用する。

また、上記のウエハ上に形成されたアライメントマークの位置を精度良く検出するには、ウエハ上の所定箇所形成されたアライメントマークを高倍率で観測する必要がある。こうした高倍率で観測を行うには、観測視野が必然的に狭いものとなる。そこで、狭い観測視野で確実にアライメントマークを捉えるために、アライメントマークの位置検出に先立って、所定の精度で、ウエハの移動を規定する基準座標系におけるウエハの中心位置や回転を検出することが行われている。この検出は、ウエハの外縁形状を観察し、観察されたウエハ外縁のノッチやオリエンテーション・フラットの位置やウエハ外縁の位置等を求めることにより行われている。

かかるウエハの外縁形状の観察において、従来から一般的に使用されているシリコンウエハの外縁近傍（ウエハの外縁部及び背景領域）を撮像した場合には、少なくともウエハ側は、ほぼ様な明度（輝度）の撮像結果が得られる。このため、比較的簡単に、ウエハの撮像結果と背景領域の撮像結果とに撮像データを二値化することができ、この二値化された画像データに基づいて、ウエハ像と背景領域像との境界を自動的に判別していた。

上述した従来の信号ピークの抽出方法では、信号ピークとノイズピークとの判別のために使用される信号レベルの閾値を求めるために、各製造プロセスごとに予め多くのマークに関する実験的な試行錯誤が必要である。このため、事前準備に多大な時間を費やすことが必要であった。

また、未経験の製造プロセスを採用した場合には、それまでに求めた閾値を使用することができるとは限らないので、未経験の製造プロセスを採用するた

び新たにその製造プロセスにおける多くのマークを観察し、新たな閾値を求め直さなければならなかった。かかる事態は、新たな形状のマークを採用した場合も同様であった。

さらに、同一プロセスにおける多くのマークを予め観察するといっても、その数は有限である。このため、全ての信号の波形パターンを尽くしている訳ではない。したがって、マークの位置検出にあたってマーク撮像結果から得られる信号波形が全く新たなものであった場合には、マークの位置検出を精度良く行うことができなくなるという事態も発生していた。

一方、高集積化に伴う露光精度の向上の要請から、新たなプロセスや新たな形状の位置合わせマークの採用は今後も行われることが予想される。すなわち、現在、実測して得られた信号波形データについて、信号データとノイズデータとを識別して、信号データを処理することにより、マーク位置を高精度で検出する新たな技術が待望されているのである。

また、近年において、ウエハとしてシリコンウエハに加えてガラスウエハも盛んに使用されるようになってきている。かかるガラスウエハの場合には、ウエハ側についてほぼ一様な明度（輝度）の撮像結果が得られるとは限らない。したがって、従来の手法を用いたのでは、ウエハ像と背景領域像との境界を自動的に判別することができない。

## SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は、かかる事情のもとでなされたものであり、その第1の目的は、一群のデータを、データ値に応じて合理的かつ効率的に分類することが可能なデータ分類方法及びデータ分類装置を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、観測により得られた波形におけるノイズ判別を確実かつ効率的に行うことが可能な信号処理方法及び信号処理装置を提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、物体上に形成されたマークの位置を、精度良く検出することが可能な位置検出方法及び位置検出装置を提供することにある。

また、本発明の第4の目的は、物体の撮像結果における物体と背景との境界を精度良く識別することが可能な画像処理方法及び画像処理装置を提供することにある。

また、本発明の第5の目的は、所定のパターンを基板に高い精度で転写することが可能な露光方法及び露光装置を提供することにある。

また、本発明の第6の目的は、微細なパターンを有する高集積度のデバイスを生産することが可能なデバイス製造方法を提供することにある。

本発明は、第1の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第1のデータ分類方法 comprising: 前記一群のデータを、互いに共通要素を有さない第1の数の集合にデータ分割する工程と; and 前記第1の数の集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度の和である第1総乱雑度を算出する工程、 wherein 前記第1の数の集合へのデータ分割の態様を変更しながら前記第1の数へのデータ分割と前記第1総乱雑度の算出とを繰り返し、前記第1総乱雑度が最小となった前記第1の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記一群のデータを分類する」である。

これによれば、データ分割されて得られる第1の数の各集合について、データ値の乱雑度を算出し、それらの和である第1総乱雑度を算出する。かかるデータ分割及び乱雑度の和の算出を、全てのデータ分割の態様又は統計的に十分な種類のデータ分割について繰り返し、第1総乱雑度が最小となったデータ分割の態様で一群のデータを分類する。すなわち、データ値分布の乱雑度を規準として、それぞれが、データ値が似通ったものから成る第1の数の分類集合に一群のデータを分割する。したがって、様々なデータを取り得るノイズデータを含んでいる一群のデータの中から、データ値が似通ったものとなっていると考えられる信号データの候補を、事前計測等を行うことなく、自動的かつ合理

的に得ることができる。

本発明の第1のデータ分類方法では、「further comprising: 前記第1の数の分類集合の内の特定分類集合に属するデータを、互いに共通要素を有さない第2の数の集合にデータ分割する工程; and 前記第2の数の集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度の和である第2総乱雑度を算出する工程、 wherein 前記第2の数の集合へのデータ分割の態様を変更しながら前記第2の数の集合へのデータ分割及び前記第2総乱雑度の算出とを繰り返し、前記第2総乱雑度が最小となった前記第2の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記特定分類集合に属するデータを更に分類する。」ことができる。

かかる場合には、上述のようにして一群のデータを分類した第1の数の分類集合の中の少なくとも1つの特定分類集合それぞれについて、やはり乱雑度を規準として、第2の数の分類集合にデータを分類する。したがって、第1の数の分類集合へのデータ分割では、分解能良くデータ候補を分類しきれない場合であっても、所望の分解能で、データの候補を自動的かつ合理的に得ることができる。

また、本発明の第1のデータ分類方法では、前記データ分割を、前記分類の対象となるデータからデータ値の大きさ順で行なうことができる。かかる場合には、データ分割をランダムに行うのではなく、データ値の大きさ順でデータ分割を行うので、データ分割の態様を減らすことができる。例えば、一群のデータの総数が $N$ であり、これを2つの分類集合にデータ分割するにあたって、ランダムなデータ分割を行う場合には $2^{N-1}$ 程度通りあるデータ分割の態様の総数が、大きさ順のデータ分割を行う場合には $(N-3)$ 通りしかない。したがって、迅速にデータ分割を行うことができる。

また、本発明の第1のデータ分類方法では、前記各集合の乱雑度を、前記各集合に属するデータのデータ値に基づいて、前記各集合ごとにデータ値の確率分布を推定し、前記推定されたデータ値の確率分布のエントロピを求め、前記

確率分布のエントロピーに対応する集合に属するデータの数に応じて重み付けることにより、求めることができる。

ここで、前記データ値の確率分布の推定を、正規分布であるとして行うことができる。このように、各集合におけるデータ値の確率分布を正規分布とすることは、データ値のバラツキが正規乱数的なランダムなバラツキであると考えられる場合に特に有効である。なお、データ値の確率分布が既知である場合には、その確率分布を使用すればよい。一方、確率分布が全く未知である場合には、最も一般的な確率分布である正規分布を確率分布として推定することが合理的であると考えられる。

本発明は、第2の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第1のデータ分類装置 comprising: 前記一群のデータを、互いに共通要素を有さない第1の数の集合にデータ分割する第1データ分割装置; 前記第1データ分割装置によって分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出し、該乱雑度の和を算出する第1乱雑度算出装置; and 前記第1データ分割装置によるデータ分割の態様ごとに前記第1乱雑度算出装置によって算出された乱雑度の和が最小となった前記第1の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記一群のデータを分類する第1分類装置」である。

これによれば、第1データ分割装置が一群のデータに関するデータ分割の態様を変更しつつ、第1乱雑度算出装置が、データ分割の態様ごとに、各集合におけるデータ値の乱雑度を算出し、それらの和を算出する。そして、第1分類装置が、乱雑度の和が最小となったデータ分割の態様で一群のデータを分類する。すなわち、本発明のデータ分類方法によって、データ値分布の乱雑度を規準としてデータを分類するので、一群のデータの中から、信号データの候補を自動的かつ合理的に分類することができる。

本発明の第1のデータ分類装置では、「further comprising: 記第1の数の分類集合の内の特定分類集合に属するデータを、互いに共通要素を有さな

い第2の数の集合にデータ分割する第2データ分割装置； 前記第2データ分割装置によって分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出し、該乱雑度の和を算出する第2乱雑度算出装置； and 前記第2データ分割装置によるデータ分割の態様ごとに前記第2乱雑度算出装置によって算出された乱雑度の和が最小となった前記第2の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記特定分類集合のデータを分類する第2分類装置」することができる。

本発明は、第3の観点からすると、「対象物を測定して得られる測定信号を処理する信号処理方法 comprising： 前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出する工程； and 前記抽出された信号レベルを分類対象データとして、本発明のデータ分類方法により、前記一群の特徴点の信号レベルを複数の集合に分類する工程」である。

これによれば、対象物を測定して得られる測定信号から抽出された複数の特徴点の信号レベルを分類対象データとして、本発明のデータ分類方法を使用して信号データ候補を分類する。すなわち、本発明のデータ分類方法を使用して、測定信号の信号波形データにおける信号成分データ候補とノイズ成分データ候補との分類を行うので、信号波形におけるノイズ判別を効率良く自動的に行うことができる。

ここで、前記特徴点を、前記測定信号の極大点及び極小点の少なくとも一方としてもよいし、前記測定信号の変曲点としてもよい。

本発明は、第4の観点からすると、「対象物を測定して得られる測定信号を処理する信号処理装置 comprising： 前記対象物を測定し、測定信号を収集する測定装置； 前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出する抽出装置； and 前記抽出された信号レベルを分類対象データとする本発明のデータ分類装置」である。

これによれば、測定装置が測定して得た対象物の測定信号から、抽出装置が複数の特徴点の信号レベルを抽出する。そして、本発明のデータ分類装置が、



抽出された信号レベルを分類対象データとして、本発明のデータ分類方法を使用して信号データ候補を分類する。すなわち、本発明の信号処理方法を使用して、測定信号の信号波形データにおける信号成分データ候補とノイズ成分データ候補との分類を行うことにより、効率良く自動的に信号波形におけるノイズ判別を行うことができる。

本発明は、第5の観点からすると、「物体に形成されたマークの位置を検出する位置検出方法 comprising: 前記マークを撮像し、撮像信号を収集する工程; 前記撮像信号を測定信号として、本発明の信号処理方法により前記撮像信号を処理する工程; and 前記信号処理工程における信号処理結果に基づいて前記マークの位置を算出する工程」である。

これによれば、マークを撮像することによって得られた撮像信号を、本発明の信号処理方法によって処理することにより信号成分とノイズ成分とを判別する。そして、信号成分を使用してマークの位置を算出する。したがって、撮像信号に重畳するノイズの態様が未知の場合であっても、マークの位置を自動的にかつ精度良く検出することができる。

本発明の位置検出方法では、データ分類において、データ分類後における各分類集合それぞれに属すべきデータの数は予め知られており、当該属すべきデータの数と、分類された前記各分類集合におけるデータの数とを比較して、分類の正当性を評価し、正当であると評価された前記分類集合に属するデータに基づいて位置を算出することができる。

かかる場合には、分類された信号データ候補にノイズデータが混入しているか否かを、予め知られている信号データの数とデータ分類後の信号データ候補におけるデータ数とを比較することによって判断する。そして、信号データの数とデータ分類後の信号データ候補におけるデータ数とが同数であり、分類された信号データ候補にノイズデータが混入していないと判断され、当該分類が正当であると評価された場合に、その分類集合に属するデータに基づいてマー

ク位置を検出する。したがって、マーク位置の検出のためのデータへのノイズデータの混入を防止することができるので、精度良くマーク位置を検出することができる。

なお、分類された信号データ候補にノイズデータが混入している判断され、分類工程による分類が正当ではないと評価された場合には、新たなマークの位置検出を行うことにしてもよいし、信号データ候補の各データに関するマークにおける位置情報からノイズデータを除去することにしてもよい。

本発明は、第6の観点からすると、「対象物を測定して得られる測定信号を処理する信号処理装置 comprising: 前記対象物を測定し、測定信号を収集する測定装置; 前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出する抽出装置; and 前記抽出された信号レベルを分類対象データとする本発明のデータ分類装置」である。

これによれば、撮像装置がマークを撮像することによって得られる撮像信号を測定信号として、本発明の信号処理装置が本発明の信号処理方法を使用して信号処理を行い、信号成分データとノイズ成分データとを判別する。そして、位置算出装置が、信号成分データを使用してマーク位置を算出する。すなわち、本発明の位置検出装置では、本発明の位置検出方法を使用してマーク位置を検出する。したがって、撮像信号に重畳するノイズの態様が未知の場合であっても、マークの位置を自動的かつ精度良く検出することができる。

本発明は、第7の観点からすると、「所定のパターンを基板上の区画領域に転写する第1の露光方法 comprising: 前記基板に形成された位置検出用マークの位置を本発明の位置検出方法によって検出して、前記区画領域の位置に関する所定数のパラメータを求め、前記基板上における前記区画領域の配列情報を算出する工程; and 前記配列算出において求められた前記区画領域の配列情報に基づいて、前記基板の位置制御を行いつつ、前記区画領域に前記パターンを転写する工程」である。

これによれば、配列算出工程において、本発明の位置検出方法を使用して、基板に形成された位置検出用マークの位置を高精度で検出し、その検出結果に基づいて基板上の区画領域の配列座標を算出する。そして、転写工程において、区画領域の配列座標の算出結果に基づいて基板の位置合わせを行いつつ、区画領域にパターンを転写する。したがって、所定のパターンを精度良く区画領域に転写することができる。

本発明は、第8の観点からすると、「所定のパターンを基板上の区画領域に転写する第1の露光装置 comprising: 前記基板を搭載する基板ステージ; and 前記基板上のマークの位置を検出する本発明の位置検出装置」である。

これによれば、本発明の位置検出装置により、基板上のマークの位置ひいては基板の位置を精度良く検出することができる。したがって、精度良く求められた基板の位置に基づいて基板を移動させることができる。この結果、精度を向上して、所定のパターンを基板上の区画領域に転写することができる。

なお、本発明の第1の露光装置は、前記基板を搭載する基板ステージを提供し、前記基板上のマークの位置を検出する本発明の位置検出装置を提供するとともに、他の様々な部品を機械的、光学的、及び電気的に組み合わせて調整することにより製造される。

本発明は、第9の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第2のデータ分類方法 comprising: 前記一群のデータを、前記データ値に基づいて、第1の数(a)の集合にデータ分割する; and 前記第1工程で分割された前記第1の数(a)の集合の個々の特徴に基づいて、前記一群のデータを前記第1の数(a)よりも小さな第2の数( $b < a$ )の集合に再度データ分割し直す。」である。

これによれば、一群のデータを、各データ値に基づいて、第1の数の集合にデータ分割する。そして、データ分割された第1の数のデータ集合それぞれについて、そのデータ分布における度数分布や確率分布等といった特徴を解析す

る。引き続き、解析結果として得られた第1の数のデータ集合それぞれの特徴に基づいて、前記一群のデータを第2の数の集合に再度データ分割する。この結果、一群のデータを、データ値に応じて合理的かつ効率的に、最終的に分割したい第2の数の集合にデータ分割することができる。

本発明の第2のデータ分類方法では、「前記第2の数の集合へのデータ分割に comprises: 前記第1の数(a)の集合のうち、所定の条件に合致する第1集合を特定する; 前記一群のデータのうちの、前記第1集合に含まれるデータを除いたデータ群を、データ分割するための第1の境界候補を、所定の推定手法を用いて推定する; 前記一群のデータのうちの、前記第1の境界候補によって区画され且つ前記第1集合を含むデータ群をデータ分割するための第2の境界候補を、前記所定の推定手法を用いて推定する; and 前記第2の境界候補に基づいて、前記一群のデータを前記第2の数(b)の集合にデータ分割する。」ことができる。

ここで、「前記所定の推定手法 comprises: 前記境界候補により分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出して、該乱雑度の和を算出する; and 前記境界候補によるデータ分割の態様を変更しながら前記乱雑度算出工程を行い、該乱雑度算出工程で求められた乱雑度の和が最小となる境界候補を抽出する。」ことができる。

また、「前記所定の推定手法 comprises: 前記データ群の個々の集合における確率分布を求める; and 前記個々の集合の確率分布の交点に基づいて前記境界候補を抽出する。」ことができる。

また、「前記所定の推定手法 comprises: 前記境界候補により分割された集合間の分散であるクラス間分散を算出する; and 前記境界候補によるデータ分割の態様を変更しながら前記クラス間分散算出工程を行い、該クラス間分散算出工程で求められたクラス間分散が最大となる境界候補を抽出する。」ができる。

また、前記所定の条件を、前記一群のデータのうち、ある所定値とほぼ同じ値を示すデータを抽出するという条件とすることができる。この場合、前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データであり、前記所定値は、所定の画像パターンの撮像領域に対応する領域に存在する画素の撮像データである、とすることができる。

また、本発明の第2のデータ分類方法では、「前記第2の数(b)の集合へのデータ分割 comprises: 前記第1の数(a)の集合それぞれに含まれるデータの数に基づいて、前記第1の数(a)の集合の中から所定数の集合を抽出する; 前記所定数の集合をそれぞれ代表するデータ値を平均演算して、平均データ値を算出する; and 前記平均データ値に基づいて、前記一群のデータを前記第2の数(b)の集合にデータ分割する。」ことができる。

ここで、前記平均データ値を算出において、前記所定数の集合のそれぞれのデータの数、及び前記所定数の集合の確率分布の少なくとも一方に応じた重みを用いて、前記データ値を重み付け平均演算することができる。

また、本発明の第2のデータ分割方法では、前記第1の数(a)を3以上とし、前記第2の数(b)を2とすることができる。

また、本発明の第2のデータ分割方法では、前記一群のデータを、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の輝度データとすることができる。

本発明は、第10の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第2のデータ分類装置 comprising: 前記一群のデータを、前記データ値に基づいて、第1の数(a)の集合にデータ分割する第1データ分割装置; and 前記第1の数(a)の集合の個々の特徴に基づいて、前記一群のデータを前記第1の数(a)よりも少ない第2の数( $b < a$ )の集合に再度データ分割し直す第2データ分割装置」である。

これによれば、第1データ分割装置が、各データ値に基づいて、一群のデー

データを第1の数の集合にデータ分割する。そして、第2データ分割装置が、データ分割された第1の数のデータ集合それぞれの特徴に基づいて、前記一群のデータを第2の数の集合に再度データ分割する。すなわち、本発明の第2のデータ分類装置は、本発明の第2のデータ分類方法を使用して、一群のデータを第2の数の集合にデータ分割する。したがって、一群のデータを、データ値に応じて合理的かつ効率的に、最終的に分割したい第2の数の集合にデータ分割することができる。

本発明の第2のデータ分類装置では、前記第1の数(a)を3以上とし、前記第2の数(b)を2とすることができる。

本発明は、第11の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第3のデータ分類方法 comprising: 前記データ値に基づいて、前記一群のデータを第2の数の集合にデータ分割するための第1の数(c)の境界候補を推定する; 前記一群のデータを、前記第2の数よりも少ない第4の数の集合にデータ分割するための前記第1の数(c)よりも少ない第3の数( $d < c$ )の境界候補を、所定の抽出条件の下で、前記第1の数の境界候補に基づいて抽出する」である。

これによれば、一群のデータを第2の数の集合にデータ分割するための第1の数の境界候補を推定する。そして、最終的にやりたい第2の数よりも少ない第3の数の集合にデータ分割の態様に応じた所定の抽出条件を第1の数の境界候補に適用して、第4の数の集合にデータ分割するための第3の数の境界候補を抽出する。この結果、第3の数の境界候補を合理的かつ効率的に抽出することができ、ひいては、一群のデータを、データ値に応じて合理的かつ効率的に、最終的に分割したい第4の数の集合にデータ分割することができる。

本発明の第3のデータ分類方法では、前記所定の抽出条件を、前記第1の数(c)の境界候補それぞれが示すデータ値の大きさに基づいて、前記第3の数(d)の境界候補を抽出するという条件とすることができる。

ここで、前記所定の抽出条件を、前記データ値が最大値となる境界候補を抽出するという条件とすることができる。

また、本発明の第3のデータ分類方法では、前記一群のデータを、所定方向の位置ごとに並べ；前記所定の抽出条件として、前記第1の数(c)の境界候補それぞれの位置に基づいて前記第3の数(d)の境界候補を抽出するという条件とすることができる。

また、本発明の第3のデータ分類方法では、前記一群のデータを、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データを前記画素の位置に応じて微分した微分データとし；前記データ値を、前記撮像データの微分値とし；前記境界候補を、前記画素の位置とすることができる。

また、本発明の第3のデータ分類方法では、前記第1の数(c)を2以上とし、前記第2の数(d)を1とすることができる。

また、本発明の第3のデータ分類方法では、前記一群のデータを、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の輝度データとすることができる。

本発明は、第12の観点からすると、「一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類する第3のデータ分類装置 comprising: 前記データ値に基づいて、前記一群のデータを第2の数の集合にデータ分割するための第1の数(c)の境界候補を推定する第1データ分割装置と； 前記一群のデータを、前記第2の数よりも少ない第4の数の集合にデータ分割するための前記第1の数(c)よりも少ない第3の数(d)の境界候補を、所定の抽出条件の下で、前記第1の数(c)の境界候補に基づいて抽出する第2データ分割装置」である。

これによれば、第1データ分割装置が、一群のデータを第2の数の集合にデータ分割するための第1の数の境界候補を推定する。そして、第2データ分割装置が、第2の数よりも少ない第4の数の集合にデータ分割するための第3の

数の境界候補を、所定の抽出条件の下で、第1データ分割装置で推定された第1の数の境界候補に基づいて抽出する。すなわち、本発明の第3のデータ分類装置は、本発明の第3のデータ分類方法を使用して、一群のデータを第4の数の集合にデータ分割する。したがって、一群のデータを、データ値に応じて合理的かつ効率的に、最終的に分割したい第4の数の集合にデータ分割することができる。

本発明の第3のデータ分類装置では、前記一群のデータを、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データを前記画素の位置に応じて微分した微分データとし；前記データ値を、前記撮像データの微分値とし；前記境界候補を、前記画素の位置とすることができる。

また、本発明の第3のデータ分類装置では、前記第1の数(c)を2以上とし、前記第3の数(d)を1とすることができる。

本発明は、第13の観点からすると、「所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理方法 comprising： 前記所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとする； and 本発明の第2又は第3のデータ分類方法を用いて前記輝度データを分類することにより、前記物体と前記背景との境界を識別する」である。

これによれば、所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとして、本発明の第2又は第3のデータ分類方法を用いて前記輝度データを、物体の輝度データと背景の輝度データとに、合理的かつ効率的に分類する。そして、データ分類結果に基づいて、物体と前記背景との境界を識別する。したがって、物体の撮像結果における物体と背景との境界を精度良く識別することができ、物体の外縁形状を精度良く特定することができる。

本発明は、第14の観点からすると、「所定の撮像視野内を撮像して得られた



画像データを処理する画像処理装置 wherein 前記所定の撮像視野内に存在する基板の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとし、本発明の第2又は第3のデータ分類装置を用いて前記輝度データを分類することにより、前記基板と前記背景との境界を識別する」である。

これによれば、所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとして、本発明の第2又は第3のデータ分類装置を用いて前記輝度データを、物体の輝度データと背景の輝度データとに分類する。そして、データ分類結果に基づいて、物体と背景との境界を識別する。すなわち、本発明の画像処理装置は、本発明の画像処理方法を使用して、物体と背景との境界を識別する。したがって、物体の撮像結果における物体と背景との境界を精度良く識別することができ、物体の外縁形状を精度良く特定することができる。

本発明は、第15の観点からすると、「所定のパターンを基板上に転写する第2の露光方法 comprising: 本発明の画像処理方法を用いて前記基板の外形を特定する; 前記特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う; 前記回転位置制御の後、前記基板上に形成されたマークを検出する; and 前記マーク検出工程におけるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決めしつつ、前記所定パターンを前記基板上に転写する。」である。

これによれば、外形特定工程において本発明の画像処理方法を用いて精度良く特定された基板の外形に基づいて、回転位置制御工程において、基板の回転位置制御を行う。引き続き、当該回転位置制御が行われた後の基板について、マーク検出工程において、基板上に形成されたマークが精度良く検出される。そして、転写工程において、マーク検出結果に基づいて基板を精度良く位置決めしつつ、所定パターンを基板上に転写する。したがって、所定のパターンを基板に高い精度で転写することができる。

本発明は、第16の観点からすると、「所定のパターンを基板上に転写する第

2の露光装置 comprising: 前記基板の外形を特定する、本発明の第2の画像処理装置を含む外形特定装置; 前記画像処理装置によって特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う回転位置制御装置; 前記回転位置制御装置によって回転位置制御された前記基板上に形成されたマークを検出するマーク検出装置; and 前記マーク位置検出装置によるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決めする位置決め装置、wherein 前記位置決め装置により前記基板を位置決めしつつ、前記所定パターンが前記基板上に転写される」である。

これによれば、外形特定装置が本発明の画像処理方法を用いて精度良く特定した基板の外形に基づいて、回転位置制御装置が、基板の回転位置制御を行う。引き続き、当該回転位置制御が行われた後の基板について、マーク検出装置が、基板上に形成されたマークを検出する。そして、位置決め装置によって、マーク検出結果に基づいて基板を精度良く位置決めしつつ、所定パターンを基板上に転写する。すなわち本発明の第2の露光装置は、本発明の第2の露光方法を使用して所定のパターンを基板に転写する。したがって、所定のパターンを基板に高い精度で転写することができる。

なお、本発明の第2の露光装置は、前記基板の外形を特定する、本発明の第2の画像処理装置を含む外形特定装置を提供し; 前記画像処理装置によって特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う回転位置制御装置を提供し; 前記回転位置制御装置によって回転位置制御された前記基板上に形成されたマークを検出するマーク検出装置を提供し; and 前記マーク位置検出装置によるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決めする位置決め装置を提供するとともに、他の様々な部品を機械的、光学的、及び電氣的に組み合わせて調整することにより製造される。

また、位置検出装置を計算機システムとして構成したときに、計算機システムが、本発明の位置検出方法の実行を制御する制御プログラムが格納された記

録媒体から制御プログラムを読み出して、本発明の位置検出方法を実行することにより、本発明の位置検出方法に位置検出を行うことができる。したがって、本発明は、別の観点からすると、本発明の第1のデータ分類方法、信号処理方法、又は位置検出方法の使用を制御する制御プログラムが格納された記録媒体であるといえる。

また、画像処理装置を計算機システムとして構成したときに、計算機システムが、本発明の画像処理方法の実行を制御する制御プログラムが格納された記録媒体から制御プログラムを読み出して、本発明の画像処理方法を実行することにより、画像処理を行うことができる。したがって、本発明は、別の観点からすると、本発明の第2又は第3のデータ分類方法又は画像処理方法の使用を制御する制御プログラムが格納された記録媒体であるといえる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を使用して露光を行うことにより、基板上に複数層の微細なパターンを重ね合せ精度良く形成することができる。これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。したがって、本発明は、更に別の観点からすると、本発明の露光方法を使用するデバイス製造方法であるとも言える。

## BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、一実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

図2A及び図2Bは、アライメントマークの例を説明するための図である。

図3A～図3Dは、アライメントマークに関する撮像結果を説明するための図である。

図4A～図4Eは、マークがCMPプロセスを経て形成される工程を説明するための図である。

図5は、図1の主制御系の概略構成を示す図である。

図 6 は、マークの位置検出動作を説明するためのフローチャートである。

図 7 は、パルス高値の大きさ順に並び変えられたパルス高データの分布の例を示すグラフである。

図 8 は、図 5 のピーク高データの分類サブルーチンにおける処理を説明するためのフローチャートである。

図 9 A ~ 図 9 C は、正のピーク高値のデータに関する分類の例を示す図である。

図 10 は、第 2 の実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

図 11 は、図 10 の装置におけるラフアライメント検出系周辺の構成を概略的に示す平面図である。

図 12 は、図 10 の装置における主制御系の構成を示すブロック図である。

図 13 は、図 10 の装置の動作を説明するためのフローチャートである。

図 14 は、ラフアライメント検出系による撮像結果を説明するための図である。

図 15 は、図 13 のウエハ外形測定サブルーチンの処理を説明するためのフローチャートである。

図 16 は、図 14 の撮像結果における輝度値の度数分布を示すグラフである。

図 17 は、図 14 の撮像結果における輝度値の発生確率分布を示すグラフである。

図 18 は、仮パラメータ値  $T'$  (輝度値) の導出を説明するための図である。

図 19 は、閾値  $T$  (輝度値) の導出を説明するための図である。

図 20 は、閾値  $T$  (輝度値) により二値化した画像を示す図である。

図 21 は、図 14 の撮像結果における輝度値波形とその微分値波形を示すグラフである。

図 22 は、図 21 の微分値波形の解析を説明するための図である。

図 23 は、抽出された輪郭を示す図である。

図24は、図1の露光装置を用いたデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

図25は、図24のウエハ処理ステップにおける処理のフローチャートである。

## DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

### 《第1の実施形態》

以下、本発明の第1の実施形態を、図1～図9を参照して説明する。

図1には、本発明の第1の実施形態に係る露光装置100の概略構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。この露光装置100は、照明系10、レチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、基板（物体）としてのウエハWが搭載されるウエハステージWST、測定装置及び撮像装置としてのアライメント顕微鏡AS、及び装置全体を統括制御する主制御系20等を備えている。

前記照明系10は、光源、フライアイレンズ等からなる照度均一化光学系、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。こうした照明系の構成は、例えば、特開平10-112433号公報に開示されている。この照明系10では、回路パターン等が描かれたレチクルR上のレチクルブラインドで規定されたスリット状の照明領域部分を照明光ILによりほぼ均一な照度で照明する。

前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータから成る不図示のレチクルステージ駆動部によって、レチクルRの位置決めのため、照明系10の光軸（後述する投影光学系PLの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微小駆動可能であるとともに、所定の走査

方向(ここではY方向とする)に指定された走査速度で駆動可能となっている。  
さらに、本実施形態では上記磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータはX駆動用コイル、Y駆動用コイルの他にZ駆動用コイルを含んでいるため、Z方向にも微小駆動可能となっている。

レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置はレチクルレーザ干渉計(以下、「レチクル干渉計」という)16によって、移動鏡15を介して、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチクルステージRSTの位置情報(又は速度情報)RPVはステージ制御系19に送られ、ステージ制御系19はレチクルステージRSTの位置情報RPVに基づいてレチクルステージ駆動部(図示省略)を介してレチクルステージRSTを駆動する。なお、レチクルステージRSTの位置情報RPVはステージ制御系19を介して主制御系20にも送られている。

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされている。投影光学系PLとしては、両側テレセントリックで所定の縮小倍率(例えば1/5、又は1/4)を有する屈折光学系が使用されている。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルRの照明領域が照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してその照明領域内のレチクルRの回路パターンの縮小像(部分倒立像)が表面にレジスト(感光剤)が塗布されたウエハW上に形成される。

前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、ベースBS上に配置され、このウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25上にウエハWが例えば真空吸着等によって固定されている。ウエハホルダ25は不図示の駆動部により、投影光学系PLの光軸直交面に対し、任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系PLの光軸AX方向(Z方向)にも微動可能に構成されている。また、このウエハホルダ

25は光軸AX回りの微小回転動作も可能になっている。

ウエハステージWSTは走査方向(Y方向)の移動のみならず、ウエハW上の複数のショット領域を前記照明領域と共役な露光領域に位置させることができるように、走査方向に垂直な方向(X方向)にも移動可能に構成されており、ウエハW上の各ショット領域を走査(スキャン)露光する動作と、次のショットの露光開始位置まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。このウエハステージWSTはモータ等を含むウエハステージ駆動部24によりXY2次元方向に駆動される。

ウエハステージWSTのXY平面内での位置はウエハレーザ干渉計(以下、「ウエハ干渉計」という)18によって、移動鏡17を介して、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。ウエハステージWSTの位置情報(又は速度情報)WPVはステージ制御系19に送られ、ステージ制御系19はこの位置情報WPVに基づいてウエハステージWSTを制御する。なお、ウエハステージWSTの位置情報WPVはステージ制御系19を介して主制御系20にも送られている。

前記アライメント顕微鏡ASは、投影光学系PLの側面に配置された、オフアクシス方式のアライメントセンサである。このアライメント顕微鏡ASは、ウエハW上の各ショット領域に付設されたアライメントマーク(ウエハマーク)の撮像結果を出力する。かかる撮像結果は撮像データIMDとして主制御系20へ送られる。

アライメントマークとしては、例えば、図2Aに示されるようなウエハW上のショット領域SAの周囲のストリートライン上に形成された、位置合わせマークとしてのX方向位置検出用のマークMXとY方向位置検出用のマークMYとが使用される。各マークMX、MYとしては、例えば、図2Bにおいて拡大されたマークMXで代表して示されるように、検出位置方向について周期構造を有するラインアンドスペースマークを使用することができる。アライメント

顕微鏡ASは、その撮像結果である撮像データIMDを主制御系20へ向けて出力する(図1参照)。なお、図2Bにおいては、ラインが5本のラインアンドスペースマークが示されているが、マークMX(又はマークMY)として採用されるラインアンドスペースマークにおけるライン本数は、5本に限定されるものではなく、他の本数であってもよい。また、以下の説明においては、マークMX及びマークMYの個々を示す場合には、対応するショット領域SAの配列位置に応じてマークMX(i, j)及びマークMY(i, j)と記すものとする。

ウエハWにおけるマークMXの形成領域は、図3AのXZ断面で示されるように、基層81の表面にラインパターン83とスペースパターン84とがX方向に交互に形成されており、ラインパターン83及びスペースパターン84をレジスト層が覆っている。レジスト層の材質は、例えばポジ型レジスト材や化学増幅型レジストであり、高い光透過性を有している。また、基層81の材質とラインパターン83の材質とは互いに異なっており、一般に反射率や透過率が互いに異なっている。本実施形態では、ラインパターン83の材質は反射率が高いものであり、かつ、基層81の材質はラインパターン83の材質よりも反射率が高いものとしている。そして、基層81、ラインパターン83、及びスペースパターン84の上面はほぼ平坦であるとする。

このとき、上方から照明光を照射し、マークMXの形成領域における反射光による像を上方で観察すると、その像における光強度のX方向分布 $I(X)$ は、図3Bに示されるものとなる。すなわち、観察像において、ラインパターン83の上面に対応する位置で光強度が最も大きく且つ一定であり、スペースパターン84上面(基層81上面)に対応する位置で光強度が次に大きく且つ一定であり、そして、ラインパターン83の上面と基層81上面との間では、光強度がJ字(又は、し字)状に変化する。こうした図3Bに示された信号波形(生波形)についての1階微分波形 $d(I(X))/dX$ (以下、「J(X)」という)



及び2階微分波形  $d^2(I(X))/dX^2$  が、図3 C及び図3 Dに示されている。  
 以上の生波形  $I(X)$ 、1階微分波形  $J(X)$ 、2階微分波形  $d^2(I(X))/dX^2$  のいずれを使用してもマークMXの位置検出を行うことはできるが、本実施形態では、1階微分波形  $J(X)$  を解析して、マークMXの位置を検出することになっている。

かかる微分波形  $J(X)$  では、図3 Cに示されるように、ラインパターン8 3及びスペースパターン8 4の上面に対応する位置でほぼ零となっており、ラインパターン8 3とスペースパターン8 4と境界であるエッジで大きく変化している。この変化では、ラインパターン8 3の上面平坦部から $-X$ 方向に進むと、まず正のピークを形成し、次に負のピークを形成している。更に $-X$ 方向に進むと、スペースパターン8 4の上面に対応する位置に至り、ほぼ零となっている。一方、ラインパターン8 3の上面平坦部から $+X$ 方向に進むと、まず負のピークを形成し、次に正のピークを形成している。更に $+X$ 方向に進むと、スペースパターン8 4の上面に対応する位置に至り、ほぼ零となっている。以下、ラインパターン8 3の上面平坦部から $-X$ 方向に進んだときに最初に現れる正のピークを「左内エッジのピーク」、次に現れる負のピークを「左外エッジのピーク」というものとする。また、ラインパターン8 3の上面平坦部から $+X$ 方向に進んだときに最初に現れる負のピークを「右内エッジのピーク」、次に現れる正のピークを「右外エッジのピーク」というものとする。また、正のピークのピーク高値を正の値とし、負のピークのピーク高値を負の値とするものとする。

以上のような、左内エッジ、左外エッジ、右内エッジ、及び右外エッジでは、1つのマークMXの各ラインパターン8 3及び各スペースパターン8 4は同一のプロセスで同時あるいはほぼ同時に形成されるので、1つのマークMXにおける同種のエッジのピーク高値は同様の値となる。一方、基層8 1やラインパターン8 3の材質等により、正のピーク部である左内エッジと右外エッジとの

ピーク高値の大小関係が変化し、また、負のピーク部である左外エッジと右内エッジとのピーク高値の大小関係が変化する。なお、本実施形態では、ラインパターン83の反射率が基層81の反射率よりも大きいので、ラインパターン83の-X側のエッジ(以下、「左エッジ」という)の傾斜がほぼ同様であれば、左内エッジの方が左外エッジよりもピーク高の絶対値が大きく、また、ラインパターン83の+X側のエッジ(以下、「右エッジ」という)の傾斜がほぼ同様であれば、右内エッジの方が右外エッジよりもピーク高の絶対値が大きくなる。また、左内エッジと右内エッジとのピーク高の絶対値の大小関係は、左エッジの傾斜と右エッジの傾斜との大小関係によって決まるが、ラインパターン83がほぼ左右対称な場合には、左内エッジと右内エッジとのピーク高の絶対値は、ほぼ同一の値となる。このときには、左外エッジと右外エッジとのピーク高の絶対値も、ほぼ同一の値となる。

なお、マークMYも、ラインパターンとスペースパターンとの配列方向がY方向であることを除いて、マークMXと同様に構成されており、同様の信号波形が得られる。

なお、近年、半導体回路の微細化に伴い、より正確に微細な回路パターンを形成するために、ウエハW上に形成される各層の表面を平坦化するプロセス(平坦化プロセス)が採用されるようになってきている。この最たるものが、成膜した膜の表面を研磨して、その膜表面をほぼ完全に平坦化するCMP(Chemical & Mechanical Polishing: 化学的機械研磨)プロセスである。かかるCMPプロセスは、半導体集積回路の配線層(金属)間の層間絶縁膜(二酸化ケイ素等の誘電体)に適用されることが多い。

また、最近、例えば隣接する微細素子同士を絶縁するために所定幅の浅い溝を形成し、この溝に誘電体などの絶縁膜を埋め込むSTI(Shallow Trench Isolation)工程も開発されている。このSTI工程では、絶縁物を埋め込んだ層の表面をCMPプロセスで平坦化した後、その表面にポリシリコンを成膜す

ることも行われる。かかる工程を経て形成されるマークMXについて、同時に他のパターンも形成される場合の例を、図4A～図4Eを参照しながら説明する。

まず、図4Aに断面図によって示されるように、シリコンウエハ（基材）81上に、マークMX（ライン部83に対応する凹部及びスペース部84）と、回路パターン89（より正確には、凹部89a）とが形成される。

次に、図4Bに示されるように、ウエハ81の表面81aに二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）等の誘電体よりなる絶縁膜60が形成される。引き続き、絶縁膜60の表面にCMPプロセスが施されることによって、図4Cに示されるようにウエハ81の表面81aが現れるまで絶縁膜60が除去されて平坦化される。この結果、回路パターン領域ではその凹部89aに絶縁体60が埋め込まれた回路パターン89が形成され、また、マークMX領域では複数のライン部83に絶縁体60が埋め込まれたマークMXが形成される。

次いで、図4Dに示されるように、ウエハ81の表面81aの上層にポリシリコン膜63が成膜され、そのポリシリコン膜63の上にフォトレジストPRが塗布される。

図4Dに示されるウエハ81上のマークMXを、アライメント顕微鏡ASを用いて観察する場合、ポリシリコン層63の表面には下層のマークMXを反映した凹凸は全く形成されない。また、ポリシリコン層63は所定の波長域（ $550\text{nm} \sim 780\text{nm}$ の可視光）の光束を透過しない。このため、アライメント用の検出光として可視光を利用するアライメント方式ではマークMXを検出することができない恐れがある。また、アライメント用の検出光としてその大部分を可視光が占めるアライメント方式では検出光量が低下し、検出精度が低下する恐れもある。

また、図4Dにおいて、ポリシリコン層63ではなく、金属膜（メタル層）63を成膜する場合もある。この場合、メタル層63の表面には下層のアライ

メントマークを反映した凹凸は全く形成されない。また、通常、アライメント用の検出光はメタル層を透過しないため、マークMXを検出できなくなる恐れがある。

よって、上述のようなCMP工程を経て、ポリシリコン層63が成膜されているウエハ81（図4Dに示したウエハ）をアライメント顕微鏡ASで観察する場合には、アライメント検出光の波長が切り換え（選択または任意設定）可能であれば、可視光以外の波長を持つ検出光（例えば波長が約800nm～約1500nmの範囲内の赤外光）にアライメント検出光の波長を設定した上で、マークMXを観察するようにすれば良い。

また、アライメント検出光の波長が選択できない場合や、或いはCMP工程を経たウエハ81上にメタル層63が成膜されている場合には、図4Eに示されるように、マークMXの部分に対応する領域のメタル層63（或いはポリシリコン層63）をフォトリソで剥がしておき、その後でアライメント顕微鏡ASで観察すれば良い。

なお、マークMYについても、上記のマークMXと同様にして、CMPプロセスを介在させて形成することができる。

前記主制御系20は、図5に示されるように、主制御装置30と記憶装置40とを備えている。

前記主制御装置30は、ステージ制御系19にステージ制御データSCDを供給する等して露光装置100の動作を制御する制御装置39と、アライメント顕微鏡ASからの撮像データIMDを収集する撮像データ収集装置31と、該撮像データ収集装置31によって収集された撮像データIMDに基づいて信号処理を行う信号処理装置32と、該信号処理装置32による処理結果に基づいてマークMX、MYの位置を算出する位置算出装置38とから構成されている。ここで、信号処理装置32は、撮像データIMDから得られる信号波形の微分波形のピーク位置データとピーク高データとを抽出する抽出装置としての

ピーク抽出装置 33 と、抽出されたピーク高データを大きさの順に並べ変えるデータ並べ換え装置 34 と、大きさの順に並べられたピーク高データを分類するデータ分類装置 35 とを備えている。そして、データ分類装置 35 は、大きさの順に並べられたピーク高データを、分割態様を変更しつつ 2 分割し、各分割態様ごとに分割された 2 組のデータそれぞれにおける乱雑度の和を算出する第 1 及び第 2 分割装置並びに第 1 及び第 2 乱雑度算出装置としての乱雑度算出装置 36 と、該乱雑度算出装置 36 によって算出された乱雑度の和が最小となるデータ分割の態様によりデータを分類する第 1 及び第 2 分類装置としての分類演算装置 37 とを有している。以上の主制御装置 30 を構成する各装置の作用は後述する。

また、記憶装置 40 は、その内部に、撮像データ IMD を格納する撮像データ格納領域 41 と、上記の微分波形におけるピーク位置データとピーク高データとを格納するピークデータ格納領域 42 と、大きさ順に並べ換えられたピーク高データを格納する並べ換えデータ格納領域 43 と、データ分割の態様ごとの乱雑度の和を格納する乱雑度格納領域 44 と、データ分類結果を格納する分類結果格納領域 45 と、マーク位置を格納するマーク位置格納領域 46 とを有している。

なお、図 6 においては、データの流れが実線矢印で示され、制御の流れが点線矢印で示されている。

以上のように、本実施形態では、主制御装置 30 を各種の装置を組み合わせで構成したが、主制御装置 30 を計算機システムとして構成し、主制御装置 30 を構成する上記の各装置の機能を主制御装置 30 に内蔵されたプログラムによって実現することも可能である。

また、主制御系 20 を計算機システムとして構成した場合には、主制御装置 30 を構成する上記の各装置の後述する機能を実現するためのプログラムの全てを予め主制御系 20 に内蔵することは、必ずしも必須ではない。例えば、図

1において点線で示されるように、当該プログラムを格納した記録媒体としての記憶媒体96を用意するとともに、記憶媒体96からプログラム内容を読み出し可能であり、かつ、記憶媒体96を着脱可能な読み取り装置97を主制御系20に接続し、主制御系20が、読み取り装置97に装填された記憶媒体96から機能実現のために必要なプログラム内容を読み出して、当該プログラムを実行するように構成することができる。

また、主制御系20が読み取り装置97に装填された記憶媒体96からプログラム内容を読み出して、内部にインストールする構成とすることができる。さらに、インターネット等を利用し、通信ネットワークを介して機能実現のために必要となるプログラム内容を主制御系20にインストールする構成とすることもできる。

なお、記憶媒体96としては、磁氣的に記憶するもの（磁気ディスク、磁気テープ等）、電氣的に記憶するもの（PROM、バッテリー・バックアップ付RAM、EEPROMその他の半導体メモリ等）、光磁氣的に記憶するもの（光磁気ディスク等）、電気磁氣的に記憶するもの（デジタルオーディオテープ（DAT）等）等、種々の記憶形態で記憶するものを採用することができる。

以上のように、機能を実現するためのプログラム内容を記憶した記憶媒体を使用したり、インストールしたりすることが可能なように構成することにより、後におけるプログラム内容の修正や、性能向上のためのバージョンアップ等を容易に行うことができるようになる。

図1に戻り、露光装置100には、投影光学系PLの最良結像面に向けて複数のスリット像を形成するための結像光束を光軸AX方向に対して斜め方向より供給する照射光学系13と、その結像光束のウエハWの表面での各反射光束をそれぞれスリットを介して受光する受光光学系14とから成る斜入射方式の多点フォーカス位置検出系が、投影光学系PLを支える支持部（図示省略）に固定されている。この多点フォーカス位置検出系（13、14）としては、例

えば特開平6-283403号公報及びこれに対応する米国特許第5,448,332号等の開示されているものと同様の構成のものが用いられ、ステージ制御系19はこの多点フォーカス位置検出系(13、14)からのウエハ位置情報に基づいてウエハホルダ25をZ方向及び傾斜方向に駆動する。本明細書においては、上記の公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

以上のように構成された露光装置100では、以下のようにしてウエハW上におけるショット領域の配列座標を検出する。なお、ショット領域の配列座標を検出する前提として、マークMX(i, j), MY(i, j)は、前層までプロセス(例えば、第1層目のプロセス)で既にウエハW上に形成されているものとする。また、ウエハWがウエハホルダ25に不図示のウエハローダによってロードされており、主制御系20によるステージ制御系19を介したウエハWの移動により、アライメント顕微鏡ASの観察視野内に各マークMX(i, j), MY(i, j)を入れることができるように、粗い精度の位置合わせ(プリアライメント)が既に行われているものとする。こうした、プリアライメントは、ウエハWの外形の観察や、広い視野でのマークMX(i, j), MY(i, j)の観察結果及びウエハ干渉計18からの位置情報(又は速度情報)に基づいて、主制御系20(より詳しくは、制御装置39)によってステージ制御系19を介して行なわれる。さらに、ショット領域の配列座標を検出するために計測される、設計上一直線上には並ばない3個以上のXアライメントマークMX(i<sub>p</sub>, j<sub>p</sub>)(p=1~P; P≥3)、及び設計上一直線上には並ばない3個以上のYアライメントマークMY(i<sub>q</sub>, j<sub>q</sub>)(q=1~Q; Q≥3)は既に選択されているものとする。但し、選択されるマークの総数(=P+Q)は6個よりも多い個数でなければならない。

以下、ウエハW上に形成されたマークMX(i<sub>p</sub>, j<sub>p</sub>), MY(i<sub>q</sub>, j<sub>q</sub>)の位置の検出を図6及び図8に示されるフローチャートに基づきながら、適宜他

の図面を参照しつつ説明する。

まず、図6のステップ111において、選択されたマーク $MX(i_p, j_p)$ 、 $MY(i_q, j_q)$ の内の最初のマーク(Xアライメントマーク $MX(i_1, j_1)$ とする)をアライメント顕微鏡ASによる撮像位置となるようにウエハWを移動する。かかる移動は、主制御系20(より詳細には、制御装置39)によってステージ制御系19を介した制御の下で行われる。

引き続き、ステップ113において、アライメント顕微鏡ASが、制御装置39の制御のもとで、マーク $MX(i_1, j_1)$ を撮像する。そして、以上のようにして、アライメント顕微鏡ASによる撮像結果である撮像データIMDを、制御装置39からの指示に応じて、撮像データ収集装置31が取り込み、撮像データ格納領域41に格納することにより、撮像データIMDが収集される。

次に、ステップ115において、信号処理装置32内のピーク抽出装置33が、制御装置39の制御のもとで、撮像データ格納領域41から撮像データIMDを読み出し、撮像されたマーク $MX(i_1, j_1)$ におけるY方向に関する中心付近におけるX方向の複数本(例えば、50本)走査線上の信号強度分布(光強度分布) $I_1(X) \sim I_{50}(X)$ を抽出する。そして、次の(1)式によって、平均的なX方向に関する信号強度分布の波形、すなわち生波形 $I'(X)$ を求める。こうして求められた生波形 $I'(X)$ は、信号強度分布 $I_1(X) \sim I_{50}(X)$ の個々に重畳している高周波ノイズが低減されたものとなっている。

$$I'(X) = \left[ \sum_{i=1}^{50} I_i(X) \right] / 50 \quad \dots(1)$$

引き続き、ピーク抽出装置33が、(1)式によって算出された $I'(X)$ について更にスムージング化の手法を適用して更に高周波成分を除去し、生波形 $I(X)$ を求めている。



そして、ピーク抽出装置 33 は、生波形  $I(X)$  を微分して、1 階微分波形  $J(X)$  を算出する。

次いで、ステップ 117 において、ピーク抽出装置 33 は、微分波形  $J(X)$  における全てのピークを抽出し、各ピークに関する  $X$  位置とピーク高とから成るピークデータを求める。なお、以下の説明において、抽出されたピークの総数を  $N_T$  と表すものとする。ピーク抽出装置 33 は、抽出された全てピークデータ及び値  $N_T$  をピークデータ格納領域 42 に格納する。

引き続き、ステップ 118 において、データ並べ換え装置 34 が、制御装置 39 の制御のもとで、ピークデータ格納領域 42 からピークデータ及び値  $N_T$  を読み出し、ピーク高が大きい順にピーク高データを並べ変えるとともに、ピーク高が正であったピーク総数  $N_P$  を求める。こうして並べ換えられたピークデータを、横軸をピーク番号  $N$  ( $N=1 \sim N_T$ ) とし、縦軸をピーク高としてグラフで表した例が図 7 に示されている。この図 7 のグラフにおいて、ピーク高が正のものとして、上述した左内エッジのピーク、右外エッジのピーク、及びノイズピークが含まれており、また、ピーク高が負のものとして、左外エッジのピーク、右内エッジのピーク、及びノイズピークが含まれている。なお、以下の説明においては、ピーク番号  $N$  のピーク高の値を  $PH(N)$  で表し、また、ピーク番号  $N$  の  $X$  位置を  $X(N)$  で表すものとする。データ並べ換え装置 34 は、並べ換えられたピークデータ、値  $N_T$ 、及び値  $N_P$  を並べ換えデータ格納領域 43 に格納する。

次に、サブルーチン 119 において、分類装置 35 が、制御装置 39 の制御のもとで、ピーク高データの分類を行う。本実施形態では、サブルーチン 119 におけるデータ分類により、信号ピークである左内エッジ、左外エッジ、右内エッジ、及び右外エッジそれぞれに応じたピークの候補を得ることとしている。

サブルーチン 119 では、まず、図 8 のステップ 131 において、制御装置

39が並べ変えデータ格納領域43から値NT及び値NPを読み出す。そして、ピーク高が大きな順に並べられたピーク列において、左内エッジに応じたピーク及び右外エッジに応じたピークを含む正のピーク高を有するピークすなわち第1番目から第NP番目までのピークに関する第1回目の分類を行うために、分類対象データの開始ピーク番号 $N_{SR}$ を1に設定するとともに、終了ピーク番号 $N_{SP}$ を値NPに設定する。そして、制御装置39は、分類装置35の乱雑度算出装置36に対して、開始ピーク番号 $N_{SR}$ (=1)及び終了ピーク番号 $N_{SP}$ (=NP)を指定する。

制御装置39から開始ピーク番号 $N_{SR}$ 及び終了ピーク番号 $N_{SP}$ を指定された乱雑度算出装置36は、ステップ133において、分割パラメータ $n$ を初期値( $N_{SR}+1$ )に設定するとともに、並べ変えデータ格納領域43からパルス高データ $PH(N_{SR}) \sim PH(N_{SP})$ を読み出す。こうして読み出されたパルス高データ $PH(N_{SR}) \sim PH(N_{SP})$ を、図7と同様に横軸をピーク番号 $N$ ( $N=1 \sim NT$ )とし、縦軸をピーク高としてグラフで表した例が図9Aに示されている。なお、図9Aの例では、左内エッジに応じたピーク高データ群DG1、右外エッジに応じたピーク高データ群DG2、及びノイズピーク高データ群DG3の3つのデータ群が存在する場合を示している。以下の正のピーク高データの分類では、かかる左内エッジに応じたピーク高データ群DG1、右外エッジに応じたピーク高データ群DG2、及びノイズピーク高データ群DG3の3つのデータ群それぞれの候補に正のピーク高データを分類する。

次に、ステップ135において、乱雑度算出装置36は、パルス高データ $PH(N_{SR}) \sim PH(n)$ から成る第1集合におけるパルス高データの乱雑度 $S_{1n}$ を算出する。

かかる乱雑度 $S_{1n}$ の算出にあたって、乱雑度算出装置36は、まず、パルス高を連続変数 $t$ として、パルス高データの確率密度関数 $F_{1n}(t)$ を推定する。この確率密度関数 $F_{1n}(t)$ は、平均値 $\mu_{1n}$ 及び標準偏差 $\sigma_{1n}$ を、

$$\mu_{1n} = \left[ \sum_{j=N_{SR}}^n (PH(j)) \right] / (n - N_{SR} + 1) \quad \dots(2)$$

$$\sigma_{1n} = \left[ \sum_{j=N_{SR}}^n (PH(j) - \mu_{1n})^2 \right] / (n - N_{SR}) \quad \dots(3)$$

とする、次の（４）式で表される正規分布として推定する。

$$F_{1n}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{1n}} \exp \left[ -\frac{(t - \mu_{1n})^2}{2(\sigma_{1n})^2} \right] \quad \dots(4)$$

引き続き、乱雑度算出装置３６は、確率密度関数  $F_{1n}(t)$  のエントロピー  $E_{1n}$  を、次の（５）式によって算出する。なお、以下の説明において、記号「 $\ln(X)$ 」は値  $X$  の自然対数を示すものとする。

$$\begin{aligned} E_{1n} &= -\int_{-\infty}^{\infty} [F_{1n}(t) \cdot \ln[F_{1n}(t)]] dt \\ &= \ln(\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{1n}) + \frac{1}{2} \quad \dots(5) \end{aligned}$$

そして、乱雑度算出装置３６は、重み付け係数  $W_{1n}$  を、

$$W_{1n} = (n - N_{SR} + 1) / (N_{SP} - N_{SR} + 1) \quad \dots(6)$$

として、第１集合におけるパルス高データの乱雑度  $S_{1n}$  を、

$$S_{1n} = W_{1n} \cdot E_{1n} \quad \dots(7)$$

により算出する。

次いで、ステップ１３７において、乱雑度算出装置３６は、パルス高データ  $PH(n+1) \sim PH(N_{SP})$  から成る第２集合におけるパルス高データの乱雑度  $S_{2n}$  を算出する。

かかる乱雑度  $S_{2n}$  の算出にあたって、上記の乱雑度  $S_{1n}$  の算出の場合と同

様に、乱雑度算出装置 36 は、まず、パルス高を連続変数  $t$  として、パルス高データの確率密度関数  $F_{2n}(t)$  を推定する。この確率密度関数  $F_{2n}(t)$  は、平均値  $\mu_{2n}$  及び標準偏差  $\sigma_{2n}$  を、

$$\mu_{2n} = \left[ \sum_{j=n+1}^{N_{SP}} (PH(j)) \right] / (N_{SP} - n) \quad \dots(8)$$

$$\sigma_{2n} = \left[ \sum_{j=n+1}^{N_{SP}} (PH(j) - \mu_{2n})^2 \right] / (N_{SP} - n - 1) \quad \dots(9)$$

とする、次の (10) 式で表される正規分布として推定する。

$$F_{2n} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{2n}} \exp \left[ \frac{(t - \mu_{2n})^2}{2(\sigma_{2n})^2} \right] \quad \dots(10)$$

引き続き、乱雑度算出装置 36 は、確率密度関数  $F_{2n}(t)$  のエントロピー  $E_{2n}$  を、次の (11) 式によって算出する。

$$\begin{aligned} E_{2n} &= - \int_{-\infty}^{\infty} [ (F_{2n}(t)) \cdot \ln[F_{2n}(t)] ] dt \\ &= \ln(\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{2n}) + \frac{1}{2} \quad \dots(11) \end{aligned}$$

そして、乱雑度算出装置 36 は、重み付け係数  $W_{2n}$  を、

$$W_{2n} = (N_{SP} - n) / (N_{SP} - N_{SR} + 1) \quad \dots(12)$$

として、第 2 集合におけるパルス高データの乱雑度  $S_{2n}$  を、

$$S_{2n} = W_{2n} \cdot E_{2n} \quad \dots(13)$$

により算出する。

次に、ステップ 139 において、乱雑度算出装置 36 は、分割パラメータ  $n$

におけるパルス高データ  $PH(N_{SR}) \sim PH(N_{SP})$  の総乱雑度  $S_n$  を、第1集合の乱雑度  $S_{1n}$  と第2集合の乱雑度  $S_{2n}$  の和を算出することにより求める。すなわち、総乱雑度  $S_n$  を、

$$S_n = S_{1n} + S_{2n} \quad \dots (14)$$

によって算出する。そして、乱雑度算出装置36は、算出された総乱雑度  $S_n$  を乱雑度格納領域44に格納する。

次いで、ステップ141において、乱雑度算出装置36は、パルス高データ  $PH(N_{SR}) \sim PH(N_{SP})$  の分割の態様が全て尽くされたか否か、すなわち分割パラメータ  $n$  が値  $(N_{SP} - 2)$  となったか否かを判定する。ここでは、まだ最初の分割態様における乱雑度の算出がなされただけなので、否定的な判定がなされ、処理がステップ143に移行する。

ステップ143において、乱雑度算出装置36は、分割パラメータ  $n$  をインクリメント ( $n \leftarrow n + 1$ ) して、分割パラメータ  $n$  を更新する。以後、分割パラメータ  $n$  が値  $(N_{SP} - 2)$  となり、パルス高データ  $PH(N_{SR}) \sim PH(N_{SP})$  の分割の態様が全て尽くされるまで、各分割パラメータ  $n$  の値ごとに、上記と同様にして、ステップ135～143が実行されて総乱雑度  $S_n$  が算出され、乱雑度格納領域44に格納される。そして、ステップ141において、肯定的な判定がなされると、処理がステップ145に移行する。

ステップ145においては、分類演算装置37が、制御装置39の制御のもとで、乱雑度格納領域44から総乱雑度  $S_n$  ( $n = (N_{SR} + 1) \sim (N_{SP} - 2)$ ) を読み出して、その中で総乱雑度  $S_n$  が最小となる分割パラメータ値  $N1$  を求める。こうして求められた分割パラメータ値  $N1$  は、上述の図9Aの例のパルス高分布においては、左内エッジに応じたピーク高データ群  $DG1$  においてピーク高が最小となるピークの番号を示している。そして、分割パラメータ値  $N1$  によるデータ分類では、図9Bに示されるように、左内エッジのピークの候補から成るデータ集合  $DS1$  と、その他のピークからなるデータ集合  $DS2$  とへ

のデータ分類がなされる。分類演算装置 37 は、かかる意味を有する分割パラメータ値  $N_1$  を分類結果格納領域 45 に格納する。

次に、ステップ 147 において、制御装置 39 が、更にデータ分類を行うか否かを判定する。ここでは、正のピーク高データに関して第 1 回目のデータ分類が行われ、2 つのデータ集合  $DS_1$ ,  $DS_2$  への分類がなされたただけなので、否定的な判定がなされ、処理がステップ 149 に移行する。

ステップ 149 においては、制御装置 39 が分類結果格納領域 45 から分割パラメータ値  $N_1$  を読み出し、その値  $N_1$  からどのような分類がなされたかを判断する。ここでは、左内エッジのピークの候補から成るデータ集合  $DS_1$  と、その他のピークからなるデータ集合  $DS_2$  とへのデータ分類がなされたと判断され、データ集合  $DS_2$  が新たな分類対象であると判断される。そして、制御装置 39 が、分類対象データの新たな開始ピーク番号  $N_{SR}$  を  $(N_1 + 1)$  に設定するとともに、新たな終了ピーク番号  $N_{SP}$  を値  $N_P$  に設定する。そして、制御装置 39 は、分類装置 35 の乱雑度算出装置 36 に対して、開始ピーク番号  $N_{SR}$  及び終了ピーク番号  $N_{SP}$  を指定する。

以後、第 1 回目のデータ分類と同様にして、ステップ 133 ~ 145 が実行されて、データ集合  $DS_2$  内のピーク高データ  $PH(N_1 + 1) \sim PH(N_P)$  を分類する分割パラメータ値  $N_2$  が求められ、分類結果格納領域 45 に格納される。こうして求められた分割パラメータ値  $N_2$  は、上述の図 9 A の例のパルス高分布においては、右外エッジに応じたピーク高データ群  $DG_2$  おいてピーク高が最小となるピークの番号を示している。そして、分割パラメータ値  $N_2$  によるデータ分類では、図 9 C に示されるように、データ集合  $DS_2$  が、右外エッジのピークの候補から成るデータ集合  $DS_3$  と、その他のピークからなるデータ集合  $DS_4$  とにデータ分類される。

以上の処理の後、再度ステップ 147 において、制御装置 39 が、更にデータ分類を行うか否かを判定する。ここでは、正のピーク高データに関するデー

タ分類が終了しただけなので、否定的な判定がなされ、処理がステップ 1 4 9 に移行する。

そして、ステップ 1 4 9 において、制御装置 3 9 が、負のピーク高データを分類するために、分類対象データの新たな開始ピーク番号  $N_{SR}$  を  $(N_P + 1)$  に設定するとともに、新たな終了ピーク番号  $N_{SP}$  を値  $N_T$  に設定する。そして、制御装置 3 9 は、分類装置 3 5 の乱雑度算出装置 3 6 に対して、開始ピーク番号  $N_{SR}$  及び終了ピーク番号  $N_{SP}$  を指定する。

以後、正のピーク高データの分類と同様にして、負のピーク高データの分類がなされ、右内エッジのピーク候補及び左外エッジのピーク候補を分類する分割パラメータ値  $N_3$ ,  $N_4$  が求められ、分類結果格納領域 4 5 に格納される。

こうして、正のピーク高データ及び負のピーク高データ双方のデータ分類が終了すると、ステップ 1 4 7 において否定的な判定がなされ、サブルーチン 1 1 9 の処理が終了する。そして、処理が、図 6 のステップ 1 2 1 に移行する。

ステップ 1 2 1 では、制御装置 3 9 が分類結果格納領域 4 5 から値  $N_1 \sim N_4$  を読み出し、それらの値から左内エッジ、左外エッジ、右内エッジ、及び右外エッジそれぞれのピーク候補の数を求める。そして、制御装置 3 9 は、それらのピーク候補の数が期待値すなわちマーク  $MX(i_1, j_1)$  におけるラインパターン 8 3 の数(本実施形態では 5)と一致するか否かを調べることにより、マーク  $MX(i_1, j_1)$  の X 位置検出のために適当な分類がなされたか否かを判定する。ここで、各エッジのピーク候補の数の全てが期待値と一致する場合には、肯定的な判定がなされ、処理がステップ 1 2 3 に移行する。

一方、各エッジのピーク候補の数の少なくとも 1 つが期待値と異なる場合には、否定的な判定がなされ、処理がエラー処理に移行する。本実施形態では、エラー処理として、マーク  $MX(i_1, j_1)$  の代替のマーク  $MX(i_1', j_1')$  が選択される。そして、マーク  $MX(i_1', j_1')$  について、ウエハ W を撮像位置に移動させた後、上記のステップ 1 1 1 ~ 1 1 9 を実行して、マーク  $MX$

( $i_1'$ ,  $j_1'$ ) の撮像結果から得られるピークがマークMX ( $i_1$ ,  $j_1$ ) の場合と同様にして分類される。そして、ステップ121と同様にして、マークMX ( $i_1'$ ,  $j_1'$ ) のX位置検出のために適当な分類がなされたか否かが判定される。ここで、否定的な判定がなされると、ウエハWにおけるマーク検出は不可能と判断してウエハWに関する露光処理を中止し、一方、肯定的な判断がなされると、処理がステップ123に移行することとしている。

ステップ123では、位置算出装置38が、制御装置39の制御のもとで、分類結果格納領域45から値N1～N4を読み出し、信号ピークである左内エッジ、左外エッジ、右内エッジ、及び右外エッジのピークのピーク番号を特定する。そして、位置算出装置38は、特定されたピーク番号のピークのX位置を、並べ変えデータ格納領域43から読み出し、読み出されたピークのX位置及びウエハ干渉計18から供給されたウエハWのX位置情報（又は速度情報）WPVに基づいて各エッジのX位置を求め、それらのエッジ位置の平均を求めることによりマークMX ( $i_1$ ,  $j_1$ ) 又はマークMX ( $i_1'$ ,  $j_1'$ ) のX位置を算出する。この後、位置算出装置38は、求められたマークMX ( $i_1$ ,  $j_1$ ) 又はマークMX ( $i_1'$ ,  $j_1'$ ) の位置をマーク位置格納領域46に格納する。

次に、ステップ125において必要な数のマークについてマーク位置の算出を完了したか否かが判定される。以上では、マークMX ( $i_1$ ,  $j_1$ ) 又はマークMX ( $i_1'$ ,  $j_1'$ ) についてX位置の算出が完了したのみなので、ステップ125においての判定は否定的なものとなり、ステップ127に処理が移行する。

ステップ127では、制御装置39が、次のマークがアライメント顕微鏡ASの撮像視野に入る位置にウエハWを移動させる。かかるウエハWの移動は、制御装置39が、ステージ制御系19を介してウエハ駆動装置24を制御し、ウエハステージWSTを移動させることにより行われる。

以後、ステップ125において、必要な数のマーク位置が算出されたと判定



されるまで、上述のマークMX ( $i_1, j_1$ ) 又はマークMX ( $i_1', j_1'$ ) の場合と同様にして、マークMX ( $i_p, j_p$ ) 又はマークMX ( $i_p', j_p'$ ) ( $p = 2 \sim P$ ) のX位置、及びマークMY ( $i_q, j_q$ ) 又はマークMY ( $i_q', j_q'$ ) ( $q = 1 \sim N$ ) のY位置が算出される。

こうして、必要な数のマーク位置が算出され、マーク位置格納領域46に格納され、マーク位置検出が終了する。

以後、制御装置39が、マーク位置格納領域46から、マークMX ( $i_p, j_p$ ) ( $p = 1 \sim P$ ) のX位置、及びマークMY ( $i_q, j_q$ ) ( $q = 1 \sim Q$ ) のY位置を読み出して、ショット領域SAの配列座標を算出するためのパラメータ(誤差パラメータ)値を算出する。かかるパラメータの算出は、例えば特開昭61-44429号公報及びこれに対応する米国特許第4,780,617号等に開示されているEGA(エンハンスド・グローバル・アラインメント)手法等の統計的な手法を用いて算出される。上記の公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

こうしてショット領域SAの配列座標を算出するためのパラメータの算出が終了する。

以上のようにして、ショット領域SAの配列座標を算出するためのパラメータの値が算出されると、制御装置39は、算出されたパラメータ値を用いて求められたショット領域配列を使用しつつ、ステージ制御系19にステージ制御データSCDを送出する。そして、ステージ制御系19が、ステージ制御データSCDを参照しつつ、レチクル干涉計16によって計測されたレチクルRのXY位置情報、前述のようにして計測されたウエハWのXY位置情報に基づき、不図示のレチクル駆動部及びウエハステージWSTを介してレチクルRとウエハWとを同期移動させる。

かかる同期移動中においては、レチクルRの走査方向に対して垂直な方向に長手方向を有するスリット状の照明領域でレチクルRが照明され、レチクルR

は露光時に速度 $V_R$ で走査（スキャン）される、照明領域（中心は光軸AXとほぼ一致）は投影光学系PLを介してウエハW上に投影され、照明領域に共役なスリット状の投影領域、すなわち露光領域が形成される。ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあたるため、ウエハWは速度 $V_R$ の方向とは反対方向にレチクルRに同期して速度 $V_W$ で走査され、ウエハW上のショット領域SAの全面が露光可能となっている。走査速度の比 $V_W/V_R$ は正確に投影光学系PLの縮小倍率に応じたものとなっており、レチクルRのパターン領域のパターンがウエハW上のショット領域上に正確に縮小転写される。なお、照明領域の長手方向の幅は、レチクルR上のパターン領域よりも広く、遮光領域の最大幅よりも狭くなるように設定され、レチクルRを走査（スキャン）することによりパターン領域全面が照明されるようになっている。

以上のように制御されながら行われる走査露光により、一つのショット領域に対するレチクルパターンの転写が終了すると、ウエハステージWSTがステッピングされて、次のショット領域に対する走査露光が行われる。このようにして、ステッピング動作と走査露光走査とが順次繰り返され、ウエハW上に必要なショット数のパターンが転写される。

以上説明したように、本実施形態によれば、左内エッジ、左外エッジ、右内エッジ、及び右外エッジに応じたピークを、マークMX、MYの撮像結果から得られる信号波形におけるピークのピーク高データの乱雑度を規準として乱雑度が最小となるように分類することにより、特定し、特定されたピークのピーク位置を使用してマークMX、MYの位置を求めるので、重畳するノイズの態様が未知の場合であっても自動的に精度良くマーク位置を検出することができる。そして、本実施形態では、精度良く求められたアライメントマークMX、MYの位置に基づいてウエハW上のショット領域SA（i，j）の配列座標を高い精度で算出し、これらの算出結果に基づいて、ウエハWの位置合わせを高い精度で行うことができるので、各ショット領域SA（i，j）にレチクルR

に形成されたパターンを精度良く転写することができる。

また、本実施形態では、一度のデータ分類では、分類の分解能が不十分であるときに、先のデータ分類によって分類されたデータ集合の中で更に分類が必要であるものに属するピークデータを更にデータ分類するので、所望の分解能で、信号データの候補を自動的かつ合理的に得ることができる。

また、本実施形態では、マークMX, MYの撮像結果から得られる信号波形におけるピークのピーク高データの分類にあたり、データ値の大きさ順にデータ分割を行いつつ、各データ分割における乱雑度を算出することにしたので、迅速にピーク高データの分類を行うことができる。

また、本実施形態では、乱雑度の算出にあたって、マークMX, MYの撮像結果から得られたピーク高データを分割して得られる各データ集合ごとに確率密度関数を推定し、その確率密度関数のエントロピを求め、各データ集合に属するデータ数で重み付けたので、統計的に合理的なデータ値の乱雑度を求めることができる。

また、確率分布の推定を、正規分布であるとして行うこととしたので、合理的な確率密度関数を推定することができる。

また、ピーク高データの分類後における各分類集合に属するデータ数が期待値と同一であるか否かによって分類の正当性を評価し、正当である場合にのみマークMX, MYの位置検出を行うので、マーク位置の誤検出を防止することができ、マーク位置を精度良く検出することができる。

本実施形態の露光装置100は、前述の図1等示された各要素が電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられた後、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造される。なお、露光装置100の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

なお、上記の実施形態では、生波形の1階微分波形におけるピーク（極点）を特徴点としてピーク高データの分類を行って、マークMX, MYの位置検出

を行ったが、1階微分波形における変曲点を特徴点とし、その特徴点の特徴を定量的に表す値をデータとしてデータ分類を行って、マークMX、MYの位置検出を行うことも可能である。また、生波形や2階以上の微分波形の極点や変曲点を特徴点とし、その特徴点の特徴を定量的に表す値をデータとしてデータ分類を行って、マークMX、MYの位置検出を行うことも可能である。

また、上記の実施形態では、ラインパターンとスペースパターンとの間で内エッジと外エッジとが観測できるいわゆるダブルマークの場合について説明したが、ラインパターンとスペースパターンとの間で1つのエッジのみが観測されるいわゆるシングルマークの場合についても、本発明を適用することができる。かかる場合には、1階微分波形における正のピーク高データ及び負のピーク高データそれぞれを2つのデータ集合に分類すればよいので、上記の実施形態の装置を使用する場合において、正のピーク高データ及び負のピーク高データそれぞれについて、1回のデータ分類を行えばよい。

また、上記実施形態では、ライン・アンド・スペースマークを使用したか、他の形状のマークであってもよいことは勿論である。

また、上記実施形態では、ピーク高データ値を大きさ順に並べ、ピーク高データ値の大きさ順の2分割態様の全てについて総乱雑度を算出し、総乱雑度が最小となる分割態様を求めたが、求めようとする分類が2つのデータ集合への分類であるときには、総乱雑度を評価関数とするシンプレックス法等のいわゆる山登り法によって総乱雑度が最小となる分割態様を求めることも可能である。かかる場合には、総乱雑度を算出する分割態様の数を低減することができる。

また、上記実施形態では、正のピーク高データ及び負のピーク高データそれぞれを3つの分類集合に分類するにあたって、分割パラメータを1つ使用する2つの分類集合への分類を2度行ったが、分割パラメータを2つ使用する3つの分類集合への分類方法によって一挙に行うこともできる。例えば、2つの分割パラメータによって定まる3つのデータ集合それぞれの乱雑度の和である総

乱雑度を評価関数として、2つの分割パラメータで定義される2次元空間において、シンプレックス法等のいわゆる山登り法によって総乱雑度が最小となる分割態様を求める手法を使用することができる。

また、上記実施形態では、正のピーク高データ及び負のピーク高データそれぞれに3つの分類集合に分類するにあたって、第1回目の分類で分類された2つのデータ集合の一方をそのデータ数から第2回目のデータ分類対象とした。これに替えて、第1回目の分類で分類された2つのデータ集合それぞれをデータ分類の対象として計4つのデータ集合に分類した後、3つの分類集合への分類としたときに総乱雑度が最小となる4つのデータ集合に関する組合わせを求めることにより、3つの分類集合に分類することも可能である。

更に、必要に応じて4つ以上の分類集合に分類することも可能である。かかる場合には、2つの分類集合への分類を繰り返して行うことも可能であるし、複数の分割パラメータを使用して、いわゆる山登り法によって一挙に行うことも可能である。

### 《第2の実施形態》

以下、本発明の第2の実施形態を、図10～図23を参照して説明する。

本発明は、被撮像物の撮像結果に基づいて、被撮像物の境界部分（外形など）を抽出する場合にも適用することができる。例えばウエハやガラスプレートなどの基板（以下、「ウエハ」と総称する）を撮像して、そのウエハの外形を抽出する際に使用することもできる。

本実施形態は、ウエハの外形を抽出してウエハ位置を検出する場合に本発明を適用したものである。なお、本実施形態の説明にあたって、第1の実施形態と同一又は同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

図10は、第2の実施形態に係る露光装置200の概略的な構成を示す図である。この図10の露光装置200も、第1の実施形態の露光装置と同様に、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置である。

露光装置 200 は、照明系 10、レチクルステージ RST、投影光学系 PL、ウエハ W を保持して XY 平面内を XY 2 次元方向に移動するステージとしてのウエハステージ WST を有するステージ装置としてのウエハステージ装置 95、ウエハ W の外形を撮像する撮像装置としてのラフアライメント検出系 RAS、アライメント検出系 AS、及びこれらの制御系 20 を備えている。

ウエハステージ WST 上には、基板テーブル 26 が設けられている。また基板テーブル 26 上にウエハホルダ 25 が載置され、このウエハホルダ 25 によってウエハ W が真空吸着によって保持される。なお、ウエハステージ WST、基板テーブル 26、及びウエハホルダ 25 から、ウエハステージ装置 95 が構成されている。

前記照明系 10 は、光源ユニット、シャッタ、フライアイアレイレンズ 12 を有する 2 次光源形成光学系、ビームスプリッタ、集光レンズ系、レチクルブラインド、及び結像レンズ系等（フライアイアレイレンズ 12 以外は不図示）から構成されている。この照明系 10 の構成等については、例えば特開平 9-320956 に開示されている。ここで、光源ユニットとしては、KrF エキシマレーザ光源（発振波長 248 nm）、若しくは ArF エキシマレーザ光源（発振波長 193 nm）等のエキシマレーザ光源、又は F<sub>2</sub> レーザ光源（発振波長 157 nm）、Ar<sub>2</sub> レーザ光源（発振波長 126 nm）、銅蒸気レーザ光源や YAG レーザの高調波発生装置、又は超高圧水銀ランプ（g 線、i 線等）等が用いられる。

このようにして構成された照明系 10 の作用を簡単に説明すると、光源ユニットで発光された照明光は、シャッタが開いていると 2 次光源形成光学系に入射する。これにより、2 次光源形成光学系の射出端に多数の 2 次光源が形成され、この多数の 2 次光源から射出された照明光は、ビームスプリッタ及び集光レンズ系を介してレチクルブラインドに至る。そして、レチクルブラインドを通過した照明光は、結像レンズ系を介して、ミラー M へ向けて射出される。

この後、照明光 I L はミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられ、レチクルステージ R S T 上に保持されたレチクル R 上の矩形の照明領域 I A R を照明する。

前記投影光学系 P L は、レチクル R の下方でその光軸方向を鉛直軸（Z 軸）方向として不図示の本体コラムに保持され、鉛直軸方向（光軸方向）に所定間隔で配置された複数枚のレンズエレメント（屈折光学素子）とこれらのレンズエレメントを保持する鏡筒から成り、この投影光学系の瞳面は、前記二次光源面と互いに共役な位置関係となっており、レチクル R 面とフーリエ変換の位置関係となっている。また、瞳面近傍には開口絞り 9 2 が配されており、この開口絞り 9 2 の開口の大きさを変えることにより投影光学系 P L の開口数（N.A.）を自在に調整することができる。開口絞り 9 2 としては、ここでは虹彩絞りが用いられ、不図示の絞り駆動機構により開口絞り 9 2 の開口径を変えることで、投影光学系 P L の開口数は、所定範囲で可変となっている。絞り駆動機構は、主制御系 2 0 により制御される。

この開口絞り 9 2 を通過した回折光が、レチクル R と互いに共役な位置関係に置かれたウエハ W 上での結像に寄与することになる。

上述のようにして照明光で照明されたレチクル R 上の照明領域 I A R のパターン像が、投影光学系 P L を介して所定の投影倍率（例えば  $1/4$ 、又は  $1/5$  等）でウエハ W 上に投影され、ウエハ W 上の露光領域 I A にパターンの縮小像（部分倒立像）が形成される。

前記ラフアライメント検出系 R A S は、ベース B S 上方の投影光学系 P L と離間した位置に、不図示の保持部材によって保持されている。このラフアライメント検出系 R A S は、不図示のウエハローダによって搬送され、ウエハホルダ 2 5 に保持されたウエハ W の外縁部 3 箇所を検出する 3 つのラフアライメントセンサ 9 0 A、9 0 B、9 0 C を備えている。これら 3 つのラフアライメントセンサ 9 0 A、9 0 B、9 0 C は、図 1 1 に示されるように、所定半

径（ウエハWの半径とほぼ同一）の円周上の中心角120度間隔の位置にそれぞれ配置され、その内の1つ、ここではラファライメントセンサ90Aがウエハホルダ25に保持されたウエハWのノッチN（V字状の切り欠き）を検出可能な位置に配置されている。これらのラファライメントセンサとしては、撮像素子と画像処理回路とから成る画像処理方式のセンサが用いられている。図10に戻り、ラファライメント検出系RASによるウエハWの外縁の撮像結果データIMD1は、主制御系20に供給されている。なお、撮像結果データIMD1は、ラファライメントセンサ90Aによる撮像結果データIMAと、ラファライメントセンサ90Bによる撮像結果データIMBと、ラファライメントセンサ90Cによる撮像結果データIMCとから構成されている。

また、露光装置200には、ウエハWの露光領域IA（前述した照明領域IARに共役なウエハW上の領域）内部分及びその近傍の領域のZ方向（光軸AX方向）の位置を検出するための斜入射光式のフォーカス検出系（焦点検出系）の一つである、多点フォーカス位置検出系（図10では不図示）が設けられている。なお、この多点フォーカス位置検出系は、上述の第1の実施形態における多点フォーカス位置検出系（13，14）と同様に構成されている。

前記主制御系20は、図12に示されるように、主制御装置50と記憶装置70とを備えている。主制御装置50は、（a）レチクルRの位置情報（速度情報）RPV及びウエハWの位置情報（速度情報）WPVに基づいて、ステージ制御系19にステージ制御データSCDを供給する等して露光装置200の動作全体を制御する制御装置59と、（b）ラファライメント検出系RASから供給された撮像データIMD1に基づいて、ウエハWの外形を測定し、ウエハWの中心位置と半径とを検出するウエハ外形演算装置51とを備えている。ここで、ウエハ外形演算装置51は、（i）ラファライメント検出系RASから供給された撮像データIMD1を収集する撮像データ収集装置52と、（ii）該撮像データ収集装置52によって収集された撮像データの画像処理を行う画像処理



装置 5 3 と、(iii) 画像処理装置 5 3 による画像処理結果に基づき、ウエハ W の形状パラメータであるウエハ W の中心位置と半径との算出を行うパラメータ算出装置 5 6 とを含んでいる。

前記画像処理装置 5 3 は、(i) 各画素の画像データ（各画素の輝度情報）に基づいて、処理された処理データ（輝度に応じたヒストグラムや確率分布、又は、輝度の位置に対する微分値等）を生成する処理データ生成装置 5 4 と、(ii) 求められた処理データの分布を解析し、ウエハ像と背景像との境界（又は閾値）を推定する境界推定装置 5 5 とを有している。

また、記憶装置 7 0 は、その内部に、撮像データ格納領域 7 2 と、テクスチャ特徴値格納領域 7 3 と、境界推定位置格納領域 7 4 と、測定結果格納領域 7 5 とを含んでいる。

なお、図 1 2 においては、データの流が実線矢印で示され、制御の流れが点線矢印で示されている。以上のように構成された主制御系 2 0 の各装置の作用は後述する。

本実施形態では、主制御装置 5 0 を上記のように、各種の装置を組み合わせで構成したが、主制御系 2 0 を計算機システムとして構成し、主制御装置 5 0 を構成する上記の各装置の機能を主制御系 2 0 に内蔵されたプログラムによって実現することも可能である。

以下、本実施形態の露光装置 2 0 0 による露光動作を、図 1 3 に示されるフローチャートに沿って、適宜他の図面を参照しながら説明する。

まず、ステップ 2 0 2 において、不図示のレチクルローダにより、転写したいパターンが形成されたレチクル R がレチクルステージ R S T にロードされる。また、不図示のウエハローダにより、露光したいウエハ W が基板テーブル 2 6 にロードされる。

次に、ステップ 2 0 3 において、ウエハ W をラフアライメントセンサ 9 0 A、9 0 B、9 0 C による撮像位置へ移動する。この移動は、主制御系 2 0（より

詳しくは、制御装置 59（図 12 参照）がステージ制御系 19 及びステージ駆動装置 24 を介して基板テーブル 26 を移動させ、ウエハ W のノッチ N がラフアライメントセンサ 90 A の真下に、また、ウエハ W の外縁がラフアライメントセンサ 90 B、90 C の真下に来るように、ウエハ W の位置を大まかに合わせるにより行われる。

引き続き、ステップ 204 において、ラフアライメントセンサ 90 A、90 B、90 C がそれぞれ、ウエハ W の外縁近傍を撮像する。

図 14 には、これら 3 つのラフアライメントセンサ 90 A、90 B、90 C で、ガラス（例えばガリウム砒素ガラス）を材料としたウエハ（ガラスウエハ）の外縁近傍を撮像した撮像結果のうちの、一例が示されている。この図 14 に示されるように、背景領域（ウエハ W の外側の領域）300 A がほぼ一様の明度となっている。また、ウエハ W の像 300 E は、背景領域 300 A よりも暗い領域 300 B と、背景領域 300 A よりも暗いが領域 300 B よりも明るい領域 300 C と、領域 300 B とほぼ同等の明度の領域 300 D とを含んでいる。

ラフアライメントセンサ 90 A、90 B、90 C による撮像結果は、撮像データ IMD 1 として、主制御系 20 に供給される。主制御系 20 では、撮像データ収集装置 52 が、撮像データ IMD 1 を受信し、撮像データ格納領域 72 に受信データを格納する。

図 13 に戻り、次にサブルーチン 205 において、ウエハ W の形状の測定、即ちウエハ W の形状パラメータである中心位置  $Q_w$  と半径  $R_w$  との測定がなされる。このサブルーチン 205 の内容は、図 15 に示される。サブルーチン 205 では、まず、図 15 のステップ 231 において、撮像データ IMD 1 に所定の処理を施して所定の処理データを生成する。生成される処理データとしては、具体的には、撮像素子の各画素の輝度値に基づいて生成される度数分布（ヒストグラム）データ、或いは各画素の輝度値に基づいて生成される確率分布デ

ータ、或いは、撮像データ I M D 1 にフィルタリングなどの加工処理を施して生成される加工データ（例えば加工処理として微分フィルタリング処理を施した後に生成される、輝度の X 位置に対する微分値波形データ）等が考えられる。

図 1 6 には、上述した度数分布データが示されている。図 1 6 に示されるように、撮像データ I M D 1 から得られた、各画素の輝度値の度数分布は、3 つのピーク P 1 0、P 2 0、P 3 0 を有している。

図 1 7 には、上述した確率分布データが示されている。各画素の輝度値の確率分布データは、図 1 7 に示されるように、3 つの正規分布状の確率分布となる。

上述した微分値波形データは、図 1 4 の画像データに対して、X 方向に沿って微分フィルタをかけることにより生成される。この結果、図 2 1 に示される、X 方向に沿った画像データ分布波形データ（以下、「輝度波形」という）3 1 0 の 1 階微分値の絶対値の波形データである微分値波形データ 3 2 0 が得られる。

引き続き、処理データ生成装置 5 4 は、以上のようにして生成した処理データ（上述した処理データのうちの少なくとも 1 つ）を、処理データ格納領域 7 3 に格納する。こうしてステップ 2 3 1 の処理が終了する。

次に、ステップ 2 3 2 において、境界（閾値、輪郭、又は外形）推定装置 5 5 が、処理データ格納領域 7 3 から所望（1 種類又は複数種類）の処理データを読み出す。そして、以下に述べるような境界推定手法のうちのいずれか 1 つの手法を用いて、データ解析等を行うことにより、ウエハ像と背景との境界推定（ウエハの輪郭推定または外形推定）を行う。

#### ＜第 1 の境界推定手法＞

この第 1 の境界推定手法では、図 1 6 に示されたヒストグラムデータ（輝度分布データ）を用いて、前述した第 1 の実施形態の如く乱雑度（エントロピ）の総和が最小となる境界値の輝度（即ち、閾値 T）を求めることにより、ウエハ像と背景との境界推定を行うものである。なお、この手法の詳細な説明は前

述の実施形態において説明済みなので、ここでは概略的な説明にとどめる。

境界推定装置 55 は、まず、画像から明らかに背景である領域（例えば、図 14 の点線枠内領域 350 a）の画素についての輝度データをサンプリングする。このサンプリングにより、撮像データにおける背景領域像の輝度分布（図 16 の点線領域 350 b）を推定する。

そして、推定された背景領域像の輝度分布から、当該輝度分布の信頼区間よりも輝度が低い（暗い）部分（図 18 の点線領域 350 f）において、次に述べる第 1 の最尤推定法を用いて、2 つの輝度分布に分けるにあたって尤もらしい「仮の閾値（輝度値） $T'$ 」を算出する。なお、上記の信頼区間は、予め実験やシミュレーションの結果に基づいて求められる。

この第 1 の最尤推定法では、図 6 及び図 8 におけるステップ 119 にて既述したように、総乱雑度  $S_n$ （エントロピ）を用いる。

境界推定装置 55 は、図 18 の領域 350 f 内において、輝度値  $L(0)$  から任意の輝度値  $L(n)$  までの輝度データから成る第 1 集合におけるデータ値の乱雑度  $S_{1n}$  を算出する。かかる乱雑度  $S_{1n}$  の算出にあたって、境界推定装置 55 は、まず、輝度値  $L$  を連続変数  $t$  として輝度データの発生確率に関する確率密度関数  $F_{1n}(t)$  を推定する。引き続き、境界推定装置 55 は、前述の (5) 式を用いて確率密度関数  $F_{1n}(t)$  のエントロピ  $E_{1n}$  を算出する。そして、境界推定装置 55 は、前述の (6) 式を用いて重み付け係数を求め、第 1 集合における輝度値データの乱雑度  $S_{1n}$  を前述の (7) 式を用いて算出する。

次に、境界推定装置 55 は、領域 350 f 内における  $L(n+1)$  以降の輝度データから成る第 2 集合におけるデータの乱雑度  $S_{2n}$  を、前述の (10) ~ (13) 式を用い、上記と同様にして算出する。そして総乱雑度  $S_n$  を、これら求められた乱雑度  $S_{1n}$  と乱雑度  $S_{2n}$  との和を算出することにより求める。

以降は、境界推定装置 55 は、分割パラメータ  $n$  を変更して上記処理を繰り返しながら、領域 350 f 内における、全ての分割態様における総乱雑度  $S_n$

を算出する。そして、全ての分割態様においてそれぞれ総乱雑度  $S_n$  が算出されると、その複数の総乱雑度の中で、総乱雑度  $S_n$  が最小となる輝度値としての分割パラメータ値（仮のパラメータ値） $T'$  を求める。

次に境界推定装置 55 は、図 19 に示される、算出された仮のパラメータ値（輝度値） $T'$  から背景領域像の輝度分布側の領域 350 g だけを対象として、再度、上述した第 1 の最尤推定法を用いて、2 つの分布に分ける尤もらしい分割パラメータ値（輝度値） $T$  を算出する。この求められた分割パラメータ値（輝度値） $T$  が、ウエハ像と背景領域像との境界を判定するための「閾値  $T$ （輝度値）」となる。

第 1 の境界推定手法では、以上のようにして、ウエハ像と背景領域像との境界を判定するための閾値  $T$ （輝度値）を推定する。

そして境界推定装置 55 は、推定された閾値  $T$  に基づき、撮像データ IMD 1 を二値化（撮像素子のうち、閾値  $T$  より大きな輝度値を検出した画素は例えば「白」にして表し、閾値  $T$  以下の輝度値を検出した画素は例えば「黒」にして表す）する。図 20 には、撮像データ IMD 1 を、閾値  $T$  により二値化した状態の画像が示されている。この二値化された画像データに基づいて、実際のウエハの外縁が精度良く推定される。なお、図 20 では、「黒」領域がクロスハッチで示されている。

引き続き、境界推定装置 55 は、二値化画像に基づき算出される境界推定位置（ $XY$ 座標位置）、上述した閾値  $T$ 、又は二値化画像（図 20 参照）データそのものなどを、境界推定位置格納領域 74 に格納する。

#### ＜第 2 の境界推定手法＞

この第 2 の推定手法では、図 16 に示すヒストグラムデータ（輝度分布データ）、及び図 17 に示す確率分布データを用いて、ウエハ像と背景との境界推定を行うものである。

境界推定装置 55 は、まず、上述の第 1 の境界推定手法と同様に、画像から

明らかに背景である領域（例えば、図 1 4 の点線枠内領域 3 5 0 a）の画素についての輝度データをサンプリングする。このサンプリングにより、撮像データにおける背景領域像の輝度分布（図 1 6 の点線領域 3 5 0 b）を推定する。そして、推定された背景領域像の輝度分布から、当該輝度分布の信頼区間よりも輝度が低い部分（図 1 8 の点線領域 3 5 0 f）において、次に述べる第 2 の最尤推定法を用いて、2 つの輝度分布に分けるにあたって尤もらしい「仮のパラメータ値（輝度値） $T'$ 」を算出する。

この第 2 の最尤推定法では、図 1 7 の確率分布データを用い、確率分布同士との交点を、境界点の最尤点として求める。具体的には、図 1 7 の領域 3 5 0 c に存在する確率分布  $F_b$  と確率分布  $F_c$  との交点を求め、この交点の輝度値を仮のパラメータ値（輝度値） $T'$  とする。

こうして算出された仮のパラメータ値（輝度値） $T'$  から、境界推定装置 55 は、図 1 7 に示される背景像領域の輝度分布側の領域 3 5 0 d 内だけを対象として再度、上述した第 2 の最尤推定法を用いて、2 つの分布に分ける尤もらしい「パラメータ値（輝度値） $T$ 」を算出する。すなわち、境界推定装置 55 は、領域 3 5 0 d に存在する確率分布  $F_a$  と確率分布  $F_b$  との交点を求め、この交点の輝度値をパラメータ値（輝度値） $T$  とする。こうして求められたパラメータ値（輝度値） $T$  が、ウエハ像と背景領域像との境界を判別するための「閾値  $T$ （輝度値）」となる。

第 2 の境界推定手法では、以上のようにして、ウエハ像と背景との境界（閾値  $T$ ）を推定する。

その後は、境界推定装置 55 は、上述の第 1 の境界推定手法と同様に、閾値  $T$  に基づき撮像データ  $IMD1$  を二値化してウエハの外縁を推定する。そして装置 55 は、算出された境界推定位置、閾値  $T$ 、二値化画像などを、境界推定位置格納領域 7 4 に格納する。

<第 3 の境界推定手法>

この第3の推定手法では、図16に示すヒストグラムデータ（輝度分布データ）を用いて、クラス間分散（級間分散）が最大となる閾値 $T$ を求めることにより、ウエハ像と背景との境界推定を行うものである。クラス間分散とは、概略的に述べると、ある全体集合（輝度データ）をある閾値 $T$ によって分離して2つのクラス（第1、第2の分割集合）を考えたときに、全体集合の平均値と第1分割集合の平均値との差の二乗と、全体集合の平均値と第2各分割集合の平均値との差の二乗とを、それぞれ確率で重み付けし、それらの和を求めるものである。

境界推定装置55は、まず、明らかに背景である領域（図14の点線枠内350a）の画素に関する輝度データをサンプリングし、撮像データにおける背景の輝度分布（図16の点線領域350b）を推定する。

そして、推定された背景の輝度分布から、上述の分布の信頼区間よりも輝度が低い部分（図18の点線領域350f）において、以下のようにしてクラス間分散が最大となる、2つの分布に分ける尤もらしい「仮のパラメータ値（輝度値） $T'$ 」を算出する。

まず境界推定装置55は、領域350（輝度値 $0 \sim L_1$ ）において、画像における確率分布 $P_i$ 及び全平均輝度値 $\mu_T$ を、以下の（15）式及び（16）式により算出する。なお、「 $N$ 」は図18の点線枠内の全画素数（全データ数）であり、「 $n_i$ 」は輝度値 $i$ の画素数を示す。

$$P_i = n_i / N \quad \dots(15)$$

$$\mu_T = (1/N) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{L_1} (i \cdot n_i) \right] = \sum_{i=0}^{L_1} (i \cdot P_i) \quad \dots(16)$$

次に、未知の閾値（輝度値）を「 $k$ 」として、領域350f内のデータ（輝度値 $0 \sim L_1$ ）を2つのクラス（集合） $C_1$ 、 $C_2$ に分離する。このとき、輝度値 $k$ までの確率密度 $\omega(k)$ 及び平均値 $\mu(k)$ は、以下の（17）式及び（1

$$\omega(k) = \sum_{i=0}^k P_i \quad \dots(17)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=0}^k (i \cdot P_i) \quad \dots(18)$$

8) 式で表される。なお、「 $\omega(L_1) = 1$ ,  $\mu(L_1) = \mu_T$ 」となる

次に、各クラス  $C_1$ 、 $C_2$  の平均値  $\mu_1$ 、 $\mu_2$  を、次の (19) 式及び (20) 式により算出する。

$$\mu_1 = \sum_{i \in S_1} \{ i \cdot [P_r(i | C_1)] \} \quad , \quad S_1 = [0, \dots, k] \quad \dots(19)$$

$$\mu_2 = \sum_{i \in S_2} \{ i \cdot [P_r(i | C_2)] \} \quad , \quad S_2 = [k+1, \dots, L_1] \quad \dots(20)$$

なお、 $P_r(i | C_1)$ 、 $P_r(i | C_2)$  は、各クラス  $C_1$ 、 $C_2$  における輝度値  $i$  の生起確率であり、

$$P_r(i | C_1) = P_i / \omega(k) \quad \dots (21)$$

$$P_r(i | C_2) = P_i / [1 - \omega(k)] \quad \dots (22)$$

によって定義される。

以上をまとめると、

$$\mu_1 = \mu(k) / \omega(k) \quad \dots (23)$$

$$\mu_2 = \{\mu_T - \mu(k)\} / [1 - \omega(k)] \quad \dots (24)$$

となる。

そして、境界推定装置 55 は、以上を踏まえて、クラス間分散  $\sigma_B^2$  を次の (25) 式により算出する。

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \sum_{i \in S_1} [(\mu_1 - \mu_T)^2 \cdot P_i] + \sum_{i \in S_2} [(\mu_2 - \mu_T)^2 \cdot P_i] \\ &= \omega(k) \cdot (\mu_1 - \mu_T)^2 + [1 - \omega(k)] \cdot (\mu_2 - \mu_T)^2 \\ &= [\mu_T \cdot \omega(k) - \mu(k)]^2 / \{ \omega(k) \cdot [1 - \omega(k)] \} \quad \dots(25) \end{aligned}$$



そして、境界推定装置 55 は、パラメータ  $k$  を変更しながら上記処理（クラス間分散  $\sigma_b^2$  の算出処理）を行って、クラス間分散  $\sigma_b^2$  が最大になるパラメータ  $k$  を求める。このクラス間分散  $\sigma_b^2$  が最大となる時のパラメータ  $k$  が、上述の仮のパラメータ（輝度値） $T'$  となっている。

次に、境界推定装置 55 は、算出された仮のパラメータ値（輝度値） $T'$  から背景分布側の領域 350 g（図 19 参照）だけを対象として再度、上述したクラス間分散の手法を用いて、2 つの分布に分ける尤もらしいパラメータ値（輝度値） $k$  を算出する。この求められた分割パラメータ値  $k$  が、ウエハ像と背景領域像との境界を判定するための「閾値  $T$ （輝度値）」となる。

第 3 の境界推定手法では、以上のようにして、ウエハ像と背景との境界（閾値  $T$ ）を推定する。

その後、境界推定装置 55 は、上述の第 1、第 2 の境界推定手法で述べたのと同様に、閾値  $T$  に基づき撮像データ  $IMD1$  を二値化してウエハの外縁を推定する。そして、境界推定装置 55 は、算出された境界推定位置、閾値  $T$ 、二値化画像などを、境界推定位置格納領域 74 に格納する。

#### <第 4 の境界推定手法>

この第 4 の推定手法では、図 16 に示されたヒストグラムデータ（輝度分布データ）を用いて、ウエハ像と背景との境界推定を行うものである。

境界推定装置 55 は、まず、実験やシミュレーションなどで予め定められている（求められている）所定のデータ数（閾値） $S$  を用いて、ピーク値がデータ数  $S$  以上となるピークを抽出する。図 16 の場合には 3 つのピーク  $P10$ 、 $P20$ 、 $P30$  が抽出される。

そして、この 3 つのピークのうち、最大度数の多い上位 2 つのピーク  $P10$ 、 $P20$  に着目し、この 2 つのピークの輝度値  $L10$ 、 $L20$  の平均輝度値  $Lm$  を求める。この求められた平均輝度値  $Lm$  が、ウエハ像と背景との境界を判定

するための「閾値  $T$ （輝度値）」となる。

なお2つのピーク  $P10$ 、 $P20$ における最大度数に応じた重みを用いて、輝度値  $L10$ 、 $L20$ を重み付け平均演算し、これにより求められた重み付け平均値  $L_{wm}$ を、ウエハ像と背景領域像との境界を判定するための「閾値  $T$ （輝度値）」としても良い。

また上記の重み付け平均演算を行う際には、図17に示された各確率分布における最大確率や分散に応じた重みを用いるようにしても良い。

或いは、図17に示された確率分布データから、最大確率の大きい上位2つのピークを抽出し、この上位2つのピークの輝度値の平均輝度値を求め、これを「閾値  $T$ 」としても良い。この場合にも、上述の最大確率や分散に応じた重みで、重み付け平均演算を行うようにしても良い。

第4の境界推定手法では、以上のようにして、ウエハ像と背景領域像との境界を判定するための閾値  $T$ （輝度値）を推定する。

その後は、上述の境界推定手法で述べたのと同様に、閾値  $T$ に基づき撮像データ  $IMD1$ を二値化してウエハの外縁を推定し、そして装置55は、算出された境界推定位置、閾値  $T$ 、二値化画像などを、境界推定位置格納領域74に格納する。

#### ＜第5の境界推定手法＞

この第5の境界推定手法では、図21に示された微分値波形データ320を用いて、ウエハ像と背景との境界推定を行うものである。

境界推定装置55は、まず、実験やシミュレーションなどで予め定められている（求められている）所定の微分値（閾値） $S$ を用いて、その微分値  $S$ 以上となるピークを抽出する（図22参照）。図22の場合には、3つのピーク  $P10$ 、 $P20$ 、 $P30$ が抽出されている。この3つのピークが、境界候補（輪郭候補）となる。

そして、次に述べる2つの手法（第1、第2の微分値利用手法）のうちのい

ずれかの手法を用いて、ウエハ像と背景との境界位置（ウエハ像の輪郭位置）を求める。

#### 〔第 1 の微分値利用手法〕

この手法は、最大微分値で境界位置を決定するものである。図 2 2 に示されるように、撮像した画像データの中で、輝度値の差が複数（図 2 2 の場合には 3 つ）存在しているが、ウエハ像の輪郭は背景とウエハとの輝度の差であるため、ウエハ像の輪郭位置における輝度値差は最も大きい値を示すものと考えられる。

以上の考えに基づいて、この手法では図 2 2 に示された複数の微分値の候補のうち、最大の微分値を持つピーク P 1 0 のピーク位置 X 1 0 を輪郭候補として推定し、そのピーク位置 X 1 0 を輪郭推定位置（境界推定位置）として推定する。

#### 〔第 2 の微分値利用手法〕

ウエハの輪郭は、背景とウエハとで挟まれていると考えられる。この考えに基づいて、この手法では、図 2 2 に示した複数の微分値の候補のうち、背景側（図 2 2 では右側の領域 3 5 0 e）に最も近いピーク P 1 0 のピーク位置 X 1 0 を輪郭候補として推定し、そのピーク位置 X 1 0 を輪郭推定位置（境界推定位置）として推定する。

そして境界推定装置 5 5 は、上述のようにして推定された輪郭位置に基づき、撮像データ I M D 1 から輪郭を抽出する。図 2 3 はこのようにして輪郭を抽出した画像を示すものである。この輪郭抽出結果に基づいて、実際のウエハの外縁を推定することができる。

そして境界推定装置 5 5 は、以上のようにして求められた境界推定位置や、輪郭抽出画像（図 2 3 参照）そのものなどを、境界推定位置格納領域 7 4 に格納する。

以上、5 つの境界推定手法について説明したが、個々の境界推定手法の中で

説明した、2つのピークを生じるデータの分布（輝度データ分布、あるいは固有パターンの分布）を、2つのクラス（集合）に分離する「閾値」を求める手法（データを二値化する手法）に関しては、上述の境界推定手法の中で述べた手法に限られず、種々の公知の二値化手法を用いても良い。

また上記では、得られたデータ（撮像データ）を最終的に二値化する場合について説明したが、これに限られず、データを最終的に多値化（例えば3値化、またはそれ以上の多値化）する場合、即ち複数の境界を求める場合にも適用可能である。

図15に戻り、引き続き、ステップ233において、パラメータ算出装置56は、ウエハ内領域の中心位置 $Q_w$ と半径 $R_w$ とを、上記の推定された境界位置（境界推定位置格納領域74に格納された情報）に基づいて、最小二乗法等の統計的な手法を用いて算出する。

パラメータ算出装置56は、こうして求めた中心位置 $Q_w$ と半径 $R_w$ を、測定結果格納領域75に格納する。

こうしてサブルーチン205の処理を終了し、図13のメインルーチンへリターンする。

次に、ステップ206において、制御装置59は、上記で求めたウエハWの形状測定以外の露光準備用計測を行う。すなわち、制御装置59は、撮像データ格納領域71に格納されたウエハWの外縁近傍の撮像データに基づいて、ウエハWのノッチNやオリエンテーションフラットの位置を検出する。これにより、ロードされたウエハWのZ軸回りの回転角を検出する。そして、検出されたウエハWのZ軸回りの回転角に基づき、必要に応じて、ステージ制御系19及びウエハ駆動装置24を介してウエハホルダ25を回転駆動する。

また、制御装置59は、基板テーブル26上に配置された不図示の基準マーク板を使用したレチクルアライメントや、更にアライメント検出系ASを使用したベースライン量の測定等の準備作業を行う。また、ウエハWに対する露光

が、第2層目以降の露光であるときには、既に形成されている回路パターンと重ね合わせ精度良く回路パターンを形成するため、上述のウエハWの形状測定結果に基づいて、ウエハWの移動すなわちウエハステージWSTの移動を規定する基準座標系と、ウエハW上の回路パターンの配列すなわちチップ領域の配列に関する配列座標系との位置関係が、アライメント検出系ASを使用して高精度で検出される。

次いで、ステップ207において、第1層目の露光が行われる。この露光動作にあたって、まず、ウエハWのXY位置が、ウエハW上の最初のショット領域（ファースト・ショット）の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージWSTが移動される。この移動は、測定結果格納領域75から読み出された上述のウエハWの形状測定結果、ウエハ干渉計18からの位置情報（速度情報）等（第2層目以降の露光の場合には、基準座標系と配列座標系との位置関係の検出結果、ウエハ干渉計18からの位置情報（速度情報）等）に基づき、主制御系20によりステージ制御系19及びウエハ駆動装置21等を介して行われる。同時に、レチクルRのXY位置が、走査開始位置となるように、レチクルステージRSTが移動される。この移動は、主制御系20によりステージ制御系19及び不図示のレチクル駆動部等を介して行われる。

次に、ステージ制御系19が、主制御系20からの指示に応じて、多点フォーカス位置検出系によって検出されたウエハのZ位置情報、レチクル干渉計16によって計測されたレチクルRのXY位置情報、ウエハ干渉計18によって計測されたウエハWのXY位置情報に基づき、不図示のレチクル駆動部及びウエハ駆動装置24を介して、ウエハWの面位置の調整を行いつつ、レチクルRとウエハWとを相対移動させて走査露光を行う。

こうして、最初のショット領域の露光が終了すると、次のショット領域の露光のための走査開始位置となるように、ウエハステージWSTが移動されるとともに、レチクルRのXY位置が、走査開始位置となるように、レチクルステ

ージRSTが移動される。そして、当該ショット領域に関する走査露光が、上述の最初のショット領域と同様にして行われる。以後、同様にして各ショット領域について走査露光が行われ、露光が完了する。

そして、ステップ208において、不図示のウエハアンローダにより、露光が完了したウエハWが基板テーブル26からアンロードされる。こうして、ウエハWの露光処理が終了する。

本実施形態の露光装置200は、前述の図10等に表示された各要素が電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられた後、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造される。なお、露光装置200の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

なお、上述した境界推定（外形抽出、輪郭抽出）の手法は、ウエハの外形抽出への適用のみに限られるものではなく、種々の物質の外形抽出に利用できる。例えば、特開平10-335207号公報や日本国特許第2928277号公報で公知の、光源像の外形を抽出して投影光学系の結像特性に影響する照明 $\sigma$ （投影光学系のコヒーレンスファクタ $\sigma$ ）を測定する際にも使用することもできる。

また、上述した第2の実施形態における境界推定の手法は、撮像データを分類する場合に限られるものではない。種々のデータ群であって、且つそのデータ群が少なくとも3つ以上のピークを持つデータ分布を持つデータ群であれば、そのデータ群を2つ（あるいは3つ以上）の分割データ群に分類するための境界（閾値）を求める場合において、適宜適用することが可能である。

なお、上記の各実施形態では、走査型露光装置の場合を説明したが、本発明は、紫外線を光源にする縮小投影露光装置、波長30nm前後の軟X線を光源にする縮小投影露光装置、波長1nm前後を光源にするX線露光装置、EB（電子ビーム）やイオンビームによる露光装置などあらゆるウエハ露光装置、液晶露光装置等に適応できる。また、ステップ・アンド・リピート機、ステップ・

アンド・スキャン機、ステップ・アンド・スティッチング機を問わない。

また、上記の各実施形態では、露光装置におけるウエハ上の位置合わせマークの位置検出及びウエハの位置合わせの場合を説明したが、本発明を適用した位置検出、及び位置合わせは、レチクル上の位置合わせマークのマーク検出、位置検出、及びレチクルの位置合わせに用いることもでき、更に、露光装置以外の装置、例えば顕微鏡等を使用した物体の観察装置、工場の組み立てライン、加工ライン、検査ラインにおける対象物の位置決め装置等における物体の位置検出やその物体の位置合わせにも利用可能である。

また、本発明の信号処理方法及び信号処理装置は、露光装置におけるマークの撮像信号の処理に限定されるものではなく、例えば顕微鏡等を使用した物体の観察装置等における信号処理にも使用することができる。更に、信号波形における信号成分とノイズ成分との判別における多種多様な場面で使用することができる。

また、本発明のデータ分類方法及びデータ分類装置は、信号処理における信号成分とノイズ成分との判別の場合の適用に限定されるものではなく、与えられた一群のデータ内容が未知である場合に、統計的に合理的なデータの分類を行う場合であれば、あらゆる場面で使用することができる。

#### 《デバイスの製造》

次に、上記の実施形態の露光装置及び露光方法を使用したデバイスの製造について説明する。

図24は、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の生産のフローチャートが示されている。図24に示されるように、まず、ステップ401（設計ステップ）において、デバイスの機能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ402（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

一方、ステップ403（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ404（ウエハ処理ステップ）において、ステップ401～ステップ403で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ405（デバイス組立ステップ）において、ステップ404において処理されたウエハを用いてチップ化する。このステップ405には、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）パッケージング工程（チップ封入）等の工程が含まれる。

最後に、ステップ406（検査ステップ）において、ステップ405で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図25には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ404の詳細なフロー例が示されている。図25において、ステップ411（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ412（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ413（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ414（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ411～ステップ414それぞれは、ウエハプロセスの各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ415（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布し、引き続き、ステップ416（露光ステップ）において、上記で説明した実施形態の露光装置及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。次に、ステップ417（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、引き続き、



ステップ４１８（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ４１９（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上のようにして、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスが製造される。

上述の本発明の実施形態や変形例は、現状における好適な実施形態であるが、リソグラフィシステムの当業者は、本発明の精神と範囲から逸脱することなく、上述の実施形態や変形例に対して、多くの付加、変形、置換をすることに容易に想到するであろう。全てのこうした付加、変形、置換は、以下に記載される請求の範囲によって最も的確に明示される本発明の範囲に含まれるものである。

WHAT IS CLAIMED IS :

1. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類方法 comprising :

前記一群のデータを、互いに共通要素を有さない第1の数の集合にデータ分割する ; and

前記第1の数の集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度の和である第1総乱雑度を算出する、 wherein

前記第1の数の集合へのデータ分割の態様を変更しながら前記第1の数へのデータ分割と前記第1総乱雑度の算出とを繰り返し、前記第1総乱雑度が最小となった前記第1の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記一群のデータを分類する。

2. 請求項1に記載のデータ分類方法 wherein

前記第1の数の集合へのデータ分割は、分類の対象となるデータからデータ値の大きさ順で行われる。

3. 請求項1に記載のデータ分類方法 wherein

前記第1の数の集合それぞれに関する乱雑度を算出する comprises :

前記各集合に属するデータのデータ値に基づいて、前記各集合ごとにデータ値の確率分布を推定する ;

前記推定されたデータ値の確率分布のエントロピを求める ; and

前記確率分布のエントロピを対応する集合に属するデータの数に応じて重み付ける。

4. 請求項3に記載のデータ分類方法 wherein

前記第 1 確率分布は、正規分布である。

5. 請求項 1 に記載のデータ分類方法 further comprising :

前記第 1 の数の分類集合の内の特定分類集合に属するデータを、互いに共通要素を有さない第 2 の数の集合にデータ分割する ; and

前記第 2 の数の集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度の和である第 2 総乱雑度を算出する、 wherein

前記第 2 の数の集合へのデータ分割の態様を変更しながら前記第 2 の数の集合へのデータ分割及び前記第 2 総乱雑度の算出とを繰り返し、前記第 2 総乱雑度が最小となった前記第 2 の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記特定分類集合に属するデータを更に分類する。

6. 請求項 5 に記載のデータ分類方法 wherein

前記第 2 の数の集合へのデータ分割は、分類の対象となるデータからデータ値の大きさ順で行われる。

7. 請求項 5 に記載のデータ分類方法 wherein

前記第 2 の数の集合それぞれに関する乱雑度を算出する comprises :

前記各集合に属するデータのデータ値に基づいて、前記各集合ごとにデータ値の確率分布を推定する ;

前記推定されたデータ値の確率分布のエントロピを求める工程 ; and

前記確率分布のエントロピを対応する集合に属するデータの数に応じて重み付ける工程。

8. 請求項 7 に記載のデータ分類方法 wherein

前記確率分布は、正規分布である。

9. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類装置 comprising :

前記一群のデータを、互いに共通要素を有さない第1の数の集合にデータ分割する第1データ分割装置 ;

前記第1データ分割装置によって分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出し、該乱雑度の和を算出する第1乱雑度算出装置 ; and

前記第1データ分割装置によるデータ分割の態様ごとに前記第1乱雑度算出装置によって算出された乱雑度の和が最小となった前記第1の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記一群のデータを分類する第1分類装置。

10. 請求項9に記載のデータ分類装置 further comprising :

前記第1の数の分類集合の内の特定分類集合に属するデータを、互いに共通要素を有さない第2の数の集合にデータ分割する第2データ分割装置 ;

前記第2データ分割装置によって分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出し、該乱雑度の和を算出する第2乱雑度算出装置 ; and

前記第2データ分割装置によるデータ分割の態様ごとに前記第2乱雑度算出装置によって算出された乱雑度の和が最小となった前記第2の数の分類集合それぞれに属するデータに、前記特定分類集合のデータを分類する第2分類装置。

11. 対象物を測定して得られる測定信号を処理する信号処理方法 comprising :

前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出する工程 ; and

前記抽出された信号レベルを分類対象データとして、請求項1のデータ分類方法により、前記一群の特徴点の信号レベルを複数の集合に分類する工程。

12. 請求項11に記載の信号処理方法 wherein

前記特徴点は、前記測定信号の極大点及び極小点の少なくとも一方である。

13. 請求項11に記載の信号処理方法 wherein

前記特徴点は、前記測定信号の変曲点である。

14. 対象物を測定して得られる測定信号を処理する信号処理装置 comprising :

前記対象物を測定し、測定信号を収集する測定装置；

前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出する抽出装置；

and

前記抽出された信号レベルを分類対象データとする請求項9に記載のデータ分類装置。

15. 物体に形成されたマークの位置を検出する位置検出方法 comprising:

前記マークを撮像し、撮像信号を収集する；

前記撮像信号を測定信号として、請求項11に記載の信号処理方法により前記撮像信号を処理すると； and

前記信号処理工程における信号処理結果に基づいて前記マークの位置を算出する。

16. 請求項15に記載の位置検出方法 wherein

前記信号処理におけるデータ分類において、データ分類後における各分類集合それぞれに属すべきデータの数は予め知られており、

前記位置算出では、前記属すべきデータの数と、前記信号処理工程において分類された前記各分類集合におけるデータの数とを比較して、前記信号処理工

程における分類の正当性を評価し、正当であると評価された前記分類集合に属するデータに基づいて位置を算出する。

17. 物体に形成されたマークの位置を検出する位置検出装置 comprising:

前記マークを撮像し、撮像信号を収集する撮像装置；

前記撮像信号を測定信号として信号処理を行う請求項14に記載の信号処理装置； and

前記信号処理装置による信号処理結果に基づいて前記マークの位置を算出する位置算出装置。

18. 所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光方法 comprising:

前記基板に形成された位置検出用マークの位置を請求項15に記載の位置検出方法によって検出して、前記区画領域の位置に関する所定数のパラメータを求め、前記基板上における前記区画領域の配列情報を算出する； and

前記配列算出において求められた前記区画領域の配列情報に基づいて、前記基板の位置制御を行いつつ、前記区画領域に前記パターンを転写する。

19. 所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光装置 comprising:

前記基板を搭載する基板ステージ； and

前記基板上のマークの位置を検出する請求項17に記載の位置検出装置。

20. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類方法 comprising:

前記一群のデータを、前記データ値に基づいて、第1の数の集合にデータ分割する； and

前記第1工程で分割された前記第1の数の集合の個々の特徴に基づいて、前

記一群のデータを前記第 1 の数よりも小さな第 2 の数の集合に再度データ分割し直す。

2 1. 請求項 2 0 に記載のデータ分類方法 wherein

前記第 2 の数の集合へのデータ分割 comprises :

前記第 1 の数の集合のうち、所定の条件に合致する第 1 集合を特定する ;

前記一群のデータのうちの、前記第 1 集合に含まれるデータを除いたデータ群を、データ分割するための第 1 の境界候補を、所定の推定手法を用いて推定する ;

前記一群のデータのうちの、前記第 1 の境界候補によって区画され且つ前記第 1 集合を含むデータ群をデータ分割するための第 2 の境界候補を、前記所定の推定手法を用いて推定する ; and

前記第 2 の境界候補に基づいて、前記一群のデータを前記第 2 の数の集合にデータ分割する。

2 2. 請求項 2 1 に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の推定手法 comprises :

前記境界候補により分割された集合それぞれにおけるデータ値の乱雑度を算出して、該乱雑度の和を算出する ; and

前記境界候補によるデータ分割の態様を変更しながら前記乱雑度算出工程を行い、該乱雑度算出工程で求められた乱雑度の和が最小となる境界候補を抽出する。

2 3. 請求項 2 1 に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の推定手法 comprises :

前記データ群の個々の集合における確率分布を求める ; and

前記個々の集合の確率分布の交点に基づいて前記境界候補を抽出する。

24. 請求項21に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の推定手法 comprises :

前記境界候補により分割された集合間の分散であるクラス間分散を算出する ; and

前記境界候補によるデータ分割の態様を変更しながら前記クラス間分散算出工程を行い、該クラス間分散算出工程で求められたクラス間分散が最大となる境界候補を抽出する。

25. 請求項21に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の条件は、前記一群のデータのうち、ある所定値とほぼ同じ値を示すデータを抽出するという条件である。

26. 請求項25に記載のデータ分類方法 wherein

前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データであり、

前記所定値は、所定の画像パターンの撮像領域に対応する領域に存在する画素の撮像データである。

27. 請求項20に記載のデータ分類方法 wherein

前記第2の数の集合へのデータ分割 comprises :

前記第1の数の集合それぞれに含まれるデータの数に基づいて、前記第1の数の集合の中から所定数の集合を抽出する ;

前記所定数の集合をそれぞれ代表するデータ値を平均演算して、平均データ値を算出する ; and



前記平均データ値に基づいて、前記一群のデータを前記第2の数の集合にデータ分割する。

28. 請求項27に記載のデータ分類方法 wherein

前記平均データ値を算出では、前記所定数の集合のそれぞれのデータの数、及び前記所定数の集合の確率分布の少なくとも一方に応じた重みを用いて、前記データ値を重み付け平均演算する。

28. 請求項20に記載のデータ分類方法 wherein

前記第1の数は3以上であり、前記第2の数は2である。

29. 請求項20に記載のデータ分類方法 wherein

前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の輝度データである。

30. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類装置 comprising:

前記一群のデータを、前記データ値に基づいて、第1の数の集合にデータ分割する第1データ分割装置; and

前記第1の数の集合の個々の特徴に基づいて、前記一群のデータを前記第1の数よりも少ない第2の数の集合に再度データ分割し直す第2データ分割装置。

31. 請求項30に記載のデータ分類装置 wherein

前記第1の数は3以上であり、前記第2の数は2である。

32. 所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理

方法 comprising:

前記所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとする; and

請求項 29 に記載のデータ分類方法を用いて前記輝度データを分類することにより、前記物体と前記背景との境界を識別する。

33. 請求項 32 に記載の画像処理方法 wherein

前記物体には、所定のパターンが転写される基板が含まれる。

34. 所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理装置 wherein

前記所定の撮像視野内に存在する基板の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとし、

請求項 30 に記載のデータ分類装置を用いて前記輝度データを分類することにより、前記基板と前記背景との境界を識別する。

35. 所定のパターンを基板上に転写する露光方法 comprising:

請求項 33 に記載の画像処理方法を用いて前記基板の外形を特定する;

前記特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う;

前記回転位置制御の後、前記基板上に形成されたマークを検出する; and

前記マーク検出工程におけるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決めしつつ、前記所定パターンを前記基板上に転写する。

36. 所定のパターンを基板上に転写する露光装置 comprising:

前記基板の外形を特定する、請求項 34 に記載の画像処理装置を含む外形特定装置;

前記画像処理装置によって特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う回転位置制御装置；

前記回転位置制御装置によって回転位置制御された前記基板上に形成されたマークを検出するマーク検出装置； and

前記マーク位置検出装置によるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決めする位置決め装置、wherein

前記位置決め装置により前記基板を位置決めしつつ、前記所定パターンを前記基板上に転写する。

37. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類方法 comprising:

前記データ値に基づいて、前記一群のデータを第2の数の集合にデータ分割するための第1の数の境界候補を推定する；

前記一群のデータを、前記第2の数よりも少ない第4の数の集合にデータ分割するための前記第1の数よりも少ない第3の数の境界候補を、所定の抽出条件の下で、前記第1の数の境界候補に基づいて抽出する。

38. 請求項37に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の抽出条件は、前記第1の数の境界候補それぞれが示すデータ値の大きさに基づいて、前記第3の数の境界候補を抽出するという条件を含む。

39. 請求項38に記載のデータ分類方法 wherein

前記所定の抽出条件は、前記データ値が最大値となる境界候補を抽出するという条件を含む。

40. 請求項37に記載のデータ分類方法 wherein

前記一群のデータは、所定方向の位置ごとに並べられており、

前記所定の抽出条件は、前記第 1 の数の境界候補それぞれの位置に基づいて前記第 4 の数の境界候補を抽出するという条件を含む。

4 1. 請求項 3 7 に記載のデータ分類方法 wherein

前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データを、前記画素の位置に応じて微分した微分データであり、

前記データ値は、前記撮像データの微分値であり、

前記境界候補は、前記画素の位置である。

4 2. 請求項 3 7 に記載のデータ分類方法 wherein

前記第 1 の数は 2 以上であり、前記第 3 の数は 1 である。

4 3. 請求項 3 7 に記載のデータ分類方法 wherein

前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の輝度データである。

4 4. 一群のデータを、データ値に応じて複数の集合に分類するデータ分類装置 comprising:

前記データ値に基づいて、前記一群のデータを第 2 の数の集合にデータ分割するための第 1 の数の境界候補を推定する第 1 データ分割装置と；

前記一群のデータを、前記第 2 の数よりも少ない第 4 の数の集合にデータ分割するための前記第 1 の数よりも少ない第 3 の数の境界候補を、所定の抽出条件の下で、前記第 1 の数の境界候補に基づいて抽出する第 2 データ分割装置。

4 5. 請求項 4 4 に記載のデータ分類装置 wherein

前記一群のデータは、所定の撮像視野内の互いに異なる画像パターンを撮像した画素毎の撮像データを、前記画素の位置に応じて微分した微分データであり、

前記データ値は、前記撮像データの微分値であり、

前記境界候補は、前記画素の位置である。

4 6. 請求項 4 4 に記載のデータ分類装置 wherein

前記第 1 の数は 2 以上であり、前記第 3 の数は 1 である。

4 7. 所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理方法 comprising :

前記所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとする ; and

請求項 3 7 に記載のデータ分類方法を用いて前記輝度データを分類することにより、前記物体と前記背景との境界を識別する。

4 8. 所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理装置 wherein

前記所定の撮像視野内に存在する基板の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとし、

請求項 4 4 に記載のデータ分類装置を用いて前記輝度データを分類することにより、前記基板と前記背景との境界を識別する。

4 9. 所定のパターンを基板上に転写する露光方法 comprising :

請求項 4 7 に記載の画像処理方法を用いて前記基板の外形を特定する ;

前記特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板の回転位置制御を行う；  
 前記回転位置制御の後、前記基板上に形成されたマークを検出する； and  
 前記マーク検出工程におけるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決め  
 しつつ、前記所定パターンを前記基板上に転写する。

50. 所定のパターンを基板上に転写する露光装置 comprising:

前記基板の外形を特定する、請求項48に記載の画像処理装置を含む外形特  
 定装置；

前記画像処理装置によって特定された前記基板の外形に基づいて、前記基板  
 の回転位置制御を行う回転位置制御装置；

前記回転位置制御装置によって回転位置制御された前記基板上に形成された  
 マークを検出するマーク検出装置； and

前記マーク位置検出装置によるマーク検出結果に基づいて前記基板を位置決  
 めする位置決め装置、wherein

前記位置決め装置により前記基板を位置決めしつつ、前記所定パターンが前  
 記基板上に転写される。

51. 物体に形成されたマークの位置を検出する位置検出装置によって実行  
 される位置検出制御プログラムが記録された記録媒体 wherein

前記位置検出制御プログラム comprises

前記マークを撮像し、撮像信号を収集させる；

前記撮像信号を測定信号とする信号処理制御プログラム comprising

前記測定信号から得られた複数の特徴点の信号レベルを抽出させる； and

前記抽出された信号レベルを一群の分類対象データとする前記データ分類  
 制御プログラム comprising

前記一群のデータを、互いに共通要素を有さない第1の数の集合にデー

前記撮像信号の処理結果に基づいて前記マークの位置を算出させる。

前記属すべきデータの数と、分類された前記各分類集合におけるデータの数とを比較して、前記データ分類の正当性を評価し、正当であると評価された前記分類集合に属するデータに基づいて位置を算出させる。

前記第1の数の集合の個々の特徴に基づいて、前記一群のデータを前記第

1 の数よりも小さな第 2 の数の集合に再度データ分割し直させる； and  
前記物体と前記背景との境界を識別させる。

5 4. 所定の撮像視野内を撮像して得られた画像データを処理する画像処理装置によって実行される画像処理制御プログラムが記録された記録媒体 wherein

前記画像処理制御プログラム comprises

前記所定の撮像視野内に存在する物体の画像パターンと背景の画像パターンとを撮像した輝度データを一群のデータとさせる；

前記輝度データを分類させるデータ分類制御プログラム、comprising：

前記データ値に基づいて、前記一群のデータを第 2 の数の集合にデータ分割するための第 1 の数の境界候補を推定させる；

前記一群のデータを、前記第 2 の数よりも少ない第 4 の数の集合にデータ分割するための前記第 1 の数よりも少ない第 3 の数の境界候補を、所定の抽出条件の下で、前記第 1 の数の境界候補に基づいて抽出させる； and

前記物体と前記背景との境界を識別させる。

5 5. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法 wherein

前記リソグラフィ工程で、請求項 1 8 に記載の露光方法を用いて露光を行う。

5 6. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法 wherein

前記リソグラフィ工程で、請求項 3 5 に記載の露光方法を用いて露光を行う。

5 7. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法 wherein

前記リソグラフィ工程で、請求項 4 9 に記載の露光方法を用いて露光を行う。



## ABSTRACT

撮像装置 A S がマーク M X, M Y を撮像することによって得られた信号波形の特徴点の特徴量データについて、乱雑度算出装置 3 6 がデータ分割の態様を変更しつつ、データ分割の態様ごとに、分割結果の各データ集合におけるデータ値の乱雑度を算出し、それらの和を算出する。そして、分類演算装置 3 7 が乱雑度の和が最小となるデータ分割の態様で特徴点を分類することにより、特徴量データにおける信号データとノイズデータとを分類する。こうした乱雑度規準の S / N 判別によって信号データと判断された特徴点の位置に基づいて、位置算出装置 3 8 がマーク位置情報を算出する。こうして、物体上に形成されたマークの位置情報が精度良く検出される。